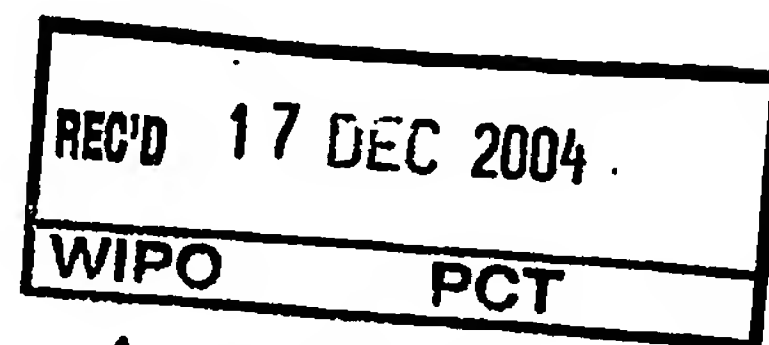


DE 030425

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PC IB04/052769



IB04/52769

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen:

103 59 464.7

Anmeldetag:

17. Dezember 2003

Anmelder/Inhaber:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung eV, 80686 München/DE;
Philips Intellectual Property & Standards GmbH,
20099 Hamburg/DE.

Bezeichnung:

Verfahren und Vorrichtung zum Erzeugen von insbesondere EUV-Strahlung und/oder weicher Röntgenstrahlung

IPC:

H 05 G, H 01 J

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 8. Dezember 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Agurka

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

A 9161
06/00
EDV-L

BEST AVAILABLE COPY



16.12.2003

5

10

15 Verfahren und Vorrichtung zum Erzeugen von insbesondere EUV-
Strahlung und/oder weicher Röntgenstrahlung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erzeugen von insbesondere EUV-Strahlung und/oder
20 weicher Röntgenstrahlung mittels elektrischer Gasentladung.

Extrem-ultraviolette Strahlung, kurz EUV-Strahlung genannt, und weiche Röntgenstrahlung umfassen einen Wellenlängenbereich von ca. 1 nm bis 20 nm. Diese EUV-Strahlung soll
25 in lithographischen Prozessen, hauptsächlich zur Halbleiterfertigung, angewandt werden.

Derartige Verfahren und Vorrichtungen sind bekannt. Des-
sen Grundprinzip, ein mittels elektrischer Gasentladung erzeugtes Plasma, das EUV-Strahlung und weiche Röntgenstrahlung
30 emittiert, ist beispielsweise in der WO-A-01/01736 offenbart.

Die EP-A-1 248 499 beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erzeugen von EUV-Strahlung, bei der Maßnahmen
35 zum stabilen Erzeugen des Plasmas und zum Regeln der Leistung genannt sind. Anhand der aus der EP-A-1 248 499 entnommenen

Fig.13 soll das grundlegende Funktionsprinzip der vorliegenden Erfindung mittels einer gattungsgemäßen Vorrichtung erläutern. Die in Fig.13 gezeigte Vorrichtung weist ein Elektrodensystem mit einer Anode 18 und einer Hohlkathode 20 auf. In einem von den Elektroden 18,20 und den Isolatoren 19 gebildeten Entladungsraum 14 ist ein Arbeitsgas 22 vorhanden. Insbesondere über den im Entladungsraum 14 herrschenden Druck, der typischerweise im Bereich von 1 Pascal bis 100 Pascal liegt, wird ein Arbeitspunkt für die Gasentladung definiert.

Wird von der Stromversorgung 21 ein periodisch schaltbarer Strom von einigen Kiloampere bis 100 Kiloampere mit einer Pulsdauer von einigen 10 Nanosekunden bis zu einigen 100 Nanosekunden an die Elektroden 18,20 angelegt, so bildet sich ein sogenanntes Pinchplasma 26, das durch Ohm'sche Heizung und elektromagnetische Kompression auf eine Temperatur aufgeheizt wird und eine Dichte aufweist, bei der das Pinchplasma 26 die EUV-Strahlung 12 emittiert.

20

Die EUV-Strahlung 12 kann bei dieser Ausführungsform mittels des Strahlaustritts 16 ausgekoppelt werden. Der Strahlaustritt 16 bildet mit einer in der Kathode 20 angeordneten Öffnung 17, die den Entladungsraum 14 mit einem Hohlraum 42 verbindet, eine in Fig.13 strichpunktiert dargestellte Achse. Im Hohlraum 42 werden hauptsächlich Ladungsträger 24 zur Ausbildung des niederohmigen Kanals von der Kathode 20 bereitgestellt.

Typischerweise handelt es sich bei den Ladungsträgern 24 um Elektronen und Ionen des Plasmas, die auf verschiedene Weise mittels eines Oberflächengleitfunktentriggers, elektrischen Triggers, ferroelektrischen Triggers oder, wie hier gezeigt, durch eine Vorionisation des Plasmas 26 im Hohlraum 42 mit hoher Reproduzierbarkeit gebildet werden. Durch Anordnung einer Triggereinrichtung 25 auf der Achse im Hohlraum 42 der

Kathode 20 können Ladungsträger 24 durch eine relativ simpel zu realisierende Potentialsteuerung freigesetzt werden.

Somit kann unter Verzicht auf ein Stromschaltelement die Gasentladung im sogenannten Selbstdurchbruch betrieben werden. Die Stromversorgung 21 lädt das Elektrodensystem bis zum Erreichen eines durch die Paschenkurve definierten Arbeitspunktes auf. Eine elektrische Potentialdifferenz zwischen der Hilfselektrode der Triggereinrichtung 25 und Kathode 20 kann mittels Stromversorgung beispielsweise derart abgesenkt werden, daß die Bildung des niederohmigen Kanals zwischen Anode 18 und Kathode 20 unterbleibt. Durch ein gesteuertes Absenken des Potentials der Hilfselektrode kann schließlich ein Zeitpunkt für den Beginn der Gasentladung und Ausbildung des Plasmas 26 gesteuert, sprich getriggert, werden.

Hierdurch können Plasmen mit hoher Wiederholungsrate und schneller Wiederverfestigung der Plasmen erreicht werden, so daß eine EUV-Strahlungsquelle mit einer Ausgangsleistung in 2 π im Bereich von einigen 10 Watt bis einigen 100 Watt zur Verfügung steht.

In der DE-A-101 51 080 wird vorgeschlagen, aus einer Gleitentladung gewonnene hochenergetische Photonen und Ladungsträger zum gesteuerten Erzeugen der Gasentladung einzusetzen. Die hier offenbarte Triggereinrichtung ist ebenfalls in einem mit dem Entladungsraum verbundenen Hohlraum von einer der Elektroden angeordnet.

Diese vorstehend beschriebenen in unmittelbarer räumlicher Nähe zum Plasma angeordneten Triggereinrichtungen sind hierbei naturgemäß einer hohen thermischen Belastung durch Ionenbeschuß und Strahlung ausgesetzt.

Zwar kann die in Fig.13 gezeigte Triggereinrichtung 25 gekühlt werden, es tritt jedoch weiterhin eine relativ hohe

Erosion während des Entladungsbetriebs an der Hilfselektrode auf, die zu einer verkürzten Lebensdauer führt.

Weiterhin kann insbesondere nach längerer Arbeitspause, eine zu geringe Anzahl an Ladungsträgern im Hohlraum vorliegen, so daß eine genügende Vorionisation unterbleibt und eine weniger effektive Einkopplung der gespeicherten elektrischen Energie vom Hohlraum in den Entladungsraum eintritt. Auch beim Betrieb der Gasentladung mit hohen Repititionsfrequenzen führt dies zu einer weniger genauen Steuerung eines Zündzeitpunkts für das Plasma und einer verringerten Stabilität der Gasentladung.

Zudem wird eine maximal erreichbare Wiederholfrequenz aufgrund der nach der Gasentladung im Hohlraum verbliebenen Ladungsträger insoweit reduziert, daß diese beispielsweise durch Rekombination beseitigt sein müssen, bevor an das Elektrodensystem erneut Spannung anlegbar ist.

Eine weitere Schwierigkeit tritt beim Entladungsbetrieb mit einer Frequenz von > 4 Kilohertz insbesondere dann auf, wenn nach längerer Arbeitspause oder einer Inbetriebnahme der Vorrichtung eine geringe Anzahl bzw. keine Ladungsträger vorhanden sind. Unter der Arbeitspause ist nachfolgend ein größerer Zeitraum als der zwischen zwei Entladungen bei Betrieb auftretende Zeitraum zu verstehen.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Erzeugen von insbesondere EUV-Strahlung und/oder weicher Röntgenstrahlung, die von einem Plasma emittiert wird, das von einem Arbeitsgas in einem Entladungsraum gebildet wird, der mindestens einen Strahlaustritt und ein Elektrodensystem mit mindestens einer Anode und mindestens einer Kathode aufweist, das elektrische Energie mittels in den Entladungsraum eingebrachter Ladungsträger in das Plasma überträgt, anzugeben, das mit einfachen Maßnahmen

9

5

eine sichere Zündung der Gasentladung bei hohen Wiederholfrä-
quenzen und bei längeren Arbeitspausen ermöglicht.

5 Diese Aufgabe wird bei dem Verfahren der vorstehend ge-
nannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß zur Bereit-
stellung der Ladungsträger in den Entladungsraum mindestens
eine von mindestens einer Strahlungsquelle erzeugte Strahlung
eingeleitet wird.

10 Die zur sicheren Triggerung der Gasentladung benötigte
Anzahl von Ladungsträgern wird bei Einfall der von der Strah-
lungsquelle erzeugten Strahlung erreicht. Die hierzu einge-
setzte Strahlungsquelle kann dabei auch außerhalb und somit
relativ weit entfernt zum Plasma betrieben werden. Die Strah-
15 lungsquelle kann vor thermischer Belastung, Ionenbeschuß
durch das Plasma und EUV-Strahlung und weicher Röntgenstrah-
lung geschützt werden, so daß eine höhere Lebensdauer der
Strahlungsquelle gewährleistet ist.

20 Das Verfahren kann derart weitergebildet werden, daß die
Strahlungsquelle koherente oder inkoherente Strahlung hoher
Energiedichte erzeugt, wodurch Ladungsträger durch Auftreffen
der Strahlung auf das Elektrodensystem in den Entladungsraum
freigesetzt werden.

25

Beispielsweise eine koherente Strahlung eines Lasers
oder auch eine inkoherente Strahlung einer Blitzlichtlampe
können direkt bzw. über eine Optik durch den Strahlaustritt
in den Entladungsraum eingebracht werden. Unter geeigneten
30 Bedingungen reicht eine in den Entladungsraum eingebrachte
geringe Lichtenergie von etwa 1 Millijoule mit einer Strah-
lungsdauer von weniger als 20 Nanosekunden aus, um die
Gasentladung zu zünden und das Plasma zu bilden.

Auch kann das Verfahren derart ausgebildet werden, daß die Strahlungsquelle massebehaftete Strahlung erzeugt, die aus mindestens einem Elektron und/oder einem Ion besteht.

5 Es kann beispielsweise eine Elektronen- oder Ionenquelle so zum Entladungsraum ausgerichtet sein, daß mit vorbestimmter Anzahl und kinetischer Energie erzeugte geladene Teilchen einbringbar sind.

10 Eine besonders vorteilhafte Weiterbildung des Verfahrens sieht vor, daß die Strahlungsquelle gepulste Strahlung mit einem ersten Strahlengang und/oder mindestens einem zweiten Strahlengang gleichzeitig oder zeitversetzt in den Entladungsraum einbringt.

15 Insbesondere Laserstrahlungsquellen stellen gepulste Strahlung mit variierbarer Pulsfrequenz bis zu etwa 10 Kilohertz bereit. Derartige Laser sind mit einer kompakten Bauweise und kostengünstig kommerziell erhältlich. Diese Strahlungsquellen können Strahlung direkt oder über eine geeignete
20 Optik in den Entladungsraum einbringen. Zudem kann durch Einbringen der Strahlung über verschiedene Strahlengänge eine verbesserte zeitliche und räumliche Verteilung der thermischen Belastung durch Variation eines Plasmaorts sichergestellt werden. Eine sich negativ auf den Wirkungsgrad der
25 Plasmaerzeugung auswirkende Änderung einer Elektrodengeometrie tritt dabei nur noch verzögert auf.

Mittels Synchronisation mehrerer Strahlungsquellen kann
30 über mehrere Strahlengänge so viel Strahlungsenergie in den Entladungsraum eingebracht werden, daß eine genauere Dosierung der Ladungsträger im Entladungsraum möglich wird. Das zeitversetzte Einbringen von Strahlung ermöglicht eine Optimierung der Ausbildung des niederohmigen Kanals bzw. der
35 Plasmabildung auch während des Entladungsbetriebs.

Ein besonders vorteilhaftes Verfahren ist dadurch gegeben, daß das Elektrodensystem mindestens eine Hilfselektrode aufweist, die auf ein zusätzliches Potential gelegt wird, oder als Opferelektrode Ladungsträger oder Arbeitsgas zur Verfügung stellt.

Die Hilfselektrode kann durch Anlegen eines variierbaren Potentials das elektrische Feld im Entladungsraum auch während des Entladungsbetriebs beispielsweise bei durch Elektrodenerosion veränderter Elektrodengeometrie verbessern. Auch kann die Hilfselektrode, bei geeigneter Wahl des Elektrodenmaterials, strahlungsinduziert Ladungsträger oder auch ein zum Erzeugen von EUV-Strahlung und/oder weicher Röntgenstrahlung geeignetes Arbeitsgas bereitstellen. Ladungsträger wie Ionen und Elektronen werden beispielsweise strahlungsinduziert besonders leicht von Metallen der ersten und zweiten Hauptgruppe gebildet, während beispielsweise Iod, Indium, Tellur, Antimon und Zinn als Arbeitsgas Verwendung finden können.

20

Zur weiteren Verbesserung des sicheren Zündens des Plasmas ist das Verfahren derart ausgestaltet, daß die Strahlung auf mindestens eine Elektrode des Elektrodensystems fokussiert wird. Dies führt zu einer besonders sicheren und effizienten Bildung von Ladungsträgern und/oder zusätzlich einem Verdampfen von Elektrodenmaterial; das schließlich als Arbeitsgas dienen kann.

25

Um ein zweckmäßiges Elektrodensystem während des Entladungsbetriebs bereitzustellen, kann beim Verfahren vorgesehen werden, daß die Strahlung mindestens eine im wesentlichen aus Wolfram, Molybdän, Eisen, Kupfer, Zinn, Graphit, Indium, Antimon, Tellur, Iod, einer Legierung bzw. einer chemischen Verbindung daraus oder aus Stahl bestehenden Elektrode beaufschlagt.

35

Bei Einsatz von beispielsweise besonders hochschmelzen-
den Materialien, wie Wolfram oder Molybdän, können Bereiche
des Elektrodensystems, die benachbart zum Plasmaort angeord-
net werden und/oder zusätzlich mit Strahlung beaufschlagt
5 sind, besonders formstabil ausgeführt werden. Ferner können
diese Materialien neben einer guten elektrischen Leitfähig-
keit auch eine erhöhte Wärmeleitfähigkeit zum Abführen der
thermischen Energie aufweisen.

10 Selbstverständlich ist es denkbar, daß diese Materialien
lediglich eine Elektrodengeometrie definierendes Traggerüst
bilden. Ein unter den Bedingungen des Entladungsbetriebs im
Entladungsraum im flüssigen Zustand vorliegendes Material
kann während des Betriebs bedarfsweise nachgeführt werden.

15 Die Strahlung wird räumlich nahe zur als Kathode ver-
wandten Elektrode fokussiert, daß sich eine durch auftreffen-
de Strahlung bildende Vorionisationswolke in Richtung auf die
Anode ausbreitet und die Zündung des Plasmas einleiten kann.

20 Weiterhin kann das Verfahren derart ausgestaltet werden,
daß die Strahlung mit einem punkt-, kreis-, ring-, linienför-
migen Muster und/oder einer Kombination daraus auf die Elek-
trode geleitet wird. Eine Verteilung der Strahlung gegebenen-
25 falls mit variierender Intensität durch Fokussierung der
Strahlung auf die Elektrode in verschiedenen geometrischen
Figuren führt zu einer Erhöhung der Strahlungsemission und
einer erhöhten Stabilität des Plasmas.

30 Zur weiteren Verbesserung der Stabilität des Plasmas ist
das Verfahren derart weitergebildet, daß die Strahlung in
mindestens einer zum Entladungsraum hin offenen und min-
destens von drei Seiten von Elektrodenmaterial begrenzten
Ausnehmung der beaufschlagten Elektrode eingebracht wird.

35

Es hat sich gezeigt, daß bei Fokussierung der Strahlung auf eine planare Elektrode häufig ein relativ großvolumiges, diffuses Plasma auftritt und daher nur ein Bruchteil an Nutzleistung der EUV-Strahlung über den Strahlaustritt in ein optisches System eingekoppelt werden kann. Zudem tritt an Elektrodenoberflächen aufgrund eines unmittelbaren Kontaktes mit dem Plasma erhöht Erosion und thermische Belastung auf. Durch Einbringen der Strahlung in die Ausnehmung oder zur Ausnehmung benachbarte Bezirke einer Elektrodenoberfläche können die strahlungsinduziert gebildeten Ladungsträger beispielsweise so ausgerichtet werden, daß ein verringertes Plasmavolumen entsteht. Weiterhin wird der Plasmaort so fixiert, daß sich eine reproduzierbare Entladung einstellen kann. Zu dem kann ein größerer Abstand zwischen Plasma und Elektrodenoberfläche eingestellt werden, so daß eine geringe Erosion auftritt.

Um eine ausreichende Menge an Arbeitsgas in dem Entladungsraum bereitstellen zu können, kann das Verfahren vorteilhafterweise so weitergebildet werden, daß das Arbeitsgas mittels einer Zuführung oder eines auf die Elektrode fokussierten Hilfsstrahls in den Entladungsraum eingebracht wird.

Neben den oben erwähnten Materialien für das Arbeitsgas können auch Xenon enthaltende Gase ein- oder zugeführt werden. Der Hilfsstrahl kann von der Strahlungsquelle über einen zweiten Strahlengang in den Entladungsraum eingebracht werden. Selbstverständlich ist es auch möglich, mittels einer weiteren Strahlungsquelle einen kontinuierlichen oder mit der Strahlung synchronen bzw. asynchronen Hilfsstrahl vorbestimmter Intensität einzubringen.

Vorteilhafterweise wird das Verfahren so ausgeführt, daß die Strahlung über eine Apertur in den Entladungsraum eingebracht wird. Dies eröffnet die Möglichkeit zum Einbringen der Strahlung in den Entladungsraum durch eine beispielsweise

rückwärtig zum Strahlaustritt angeordneten Strahlungsquelle. Selbstverständlich ist es auch möglich, bei geeigneter geometrischer Auslegung der Elektroden, die Strahlungsquelle im Entladungsraum einzusetzen.

5

Bei einem besonders vorteilhaften Verfahren ist die Strahlungsquelle derart ausgebildet, daß die Strahlung eine Wellenlänge im UV-, IR- und/oder sichtbaren Bereich hat. Durch Einbringen von UV-Strahlung in den Entladungsraum werden mit hoher Effizienz Ladungsträger aus dem Elektrodenmaterial freigesetzt. Im Falle des Einbringens von IR-Strahlung kann insbesondere die Menge von Metaldampf positiv beeinflusst werden.

15

Zur Anpassung der Anzahl von Ladungsträgern bzw. an die geometrischen Erfordernisse im Entladungsraum, wird das Verfahren derart ausgeführt, daß die Strahlung in einem Winkel von 0° bis 90° auf zur Oberfläche der Elektrode auftrifft.

20

Zur weiteren Optimierung der Erzeugung von EUV-Strahlung und/oder weicher Röntgenstrahlung kann es vorgesehen werden, daß eine Zeitspanne zwischen dem Einbringen der Strahlung und dem Übertragen der elektrischen Energie oder zwischen dem Einbringen eines bzw. des Hilfsstrahls und der Strahlung eingestellt wird. Nach Einbringung der Strahlung in den Entladungsraum bildet sich eine Vorionisationswolke, die in dem Bereich zwischen Kathode und Anode expandiert. Erst nach Ablauf dieser Zeitspanne entsteht eine optimale Verteilung der Vorionisationswolke, die bei Anlegen des elektrischen Stroms an das Arbeitgas oder einer weiteren Strahlung zu einer vorteilhaften Positionierung des Plasmas führt.

25
30

Der vorliegenden Erfindung liegt weiterhin die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zum Erzeugen von insbesondere EUV-Strahlung und/oder weicher Röntgenstrahlung, die ein Plasma emittiert, das in einem Arbeitgas in einem Entladungsraum

35

gebildet ist, der mindestens einen Strahlaustritt und ein Elektrodensystem mit mindestens einer Anode und mindestens einer Kathode aufweist, wodurch elektrische Energie mittels in den Entladungsraum einbringbarer Ladungsträger in ein Plasma übertragbar ist, derart zu verbessern, daß eine sichere und gut steuerbare Zündung der Gasentladung auch bei hohen Wiederholfrequenzen und längeren Arbeitspausen sichergestellt ist.

10 Diese Aufgabe wird bei einer Vorrichtung erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß zum Einbringen der Ladungsträger mindestens eine Strahlungsquelle vorhanden ist, die mindestens eine Strahlung in den Entladungsraum leitet.

15 Die zur Triggerung verwandte Strahlungsquelle kann derart räumlich entfernt vom Plasma angeordnet werden, daß keine die Standzeit verkürzende thermische Belastung mehr auftreten kann. Hierzu kann die Strahlungsquelle beispielsweise außerhalb des Entladungsraums angeordnet werden. Mittels einer geeigneten Optik wird die Strahlung beispielsweise über den Strahlaustritt für die EUV-Strahlung und/oder weiche Röntgenstrahlung in den Entladungsraum eingebracht. Die Strahlungsquelle kann auch im Entladungsraum selbst angeordnet sein, wobei die Elektrodenform dann so gewählt ist, daß die Strahlungsquelle selbst vor Ionenbeschuß und EUV-Strahlung geschützt ist.

30 Die Vorrichtung kann derart weitergebildet werden, daß die Strahlungsquelle koherente oder inkoherente Strahlung hoher Energiedichte erzeugen, wodurch Ladungsträger durch Auftreffen der Strahlung auf das Elektrodensystem in den Entladungsraum freisetzbar sind.

35 Derartige Strahlungsquellen zum Erzeugen von koherenter Strahlung sind beispielsweise Nd:YAG-, CO₂-, Excimer- oder Diodenlaser.

Es können jedoch auch Strahlungsquellen, die inkoherente Strahlung erzeugen, insbesondere sogenannte Blitzlichtlampen so angeordnet werden, daß deren Strahlung direkt oder mittels einer Strahlführung, die in Form von Spiegeln oder Lichtleiterkabeln ausgeführt sein können, eingeleitet werden. Selbstverständlich sind auch Strahlungsquellen einsetzbar, die sowohl monochromatische Strahlung als auch Strahlung mit verschiedenen Wellenlängen bereitstellen.

10

Eine besonders vorteilhafte Ausführungsform der Vorrichtung sieht vor, daß die Strahlungsquelle massebehaftete Strahlung erzeugt, die mindestens ein Elektron und/oder ein Ion umfaßt. Die zur Bildung des niederohmigen Kanals und zum reproduzierbaren und sicheren Zünden des Plasmas benötigten Ladungsträger werden in den Entladungsraum geführt. Das Ion kann hierbei selbstverständlich sowohl ein Kation als auch ein Anion sein. Im einfachsten Falle werden Ladungsträger von einer im Entladungsraum angeordneten Elektronen- oder Ionenquelle zugeführt. Ein zum Entladungsraum hin offenes Ende der Quelle kann beispielsweise in einem Isolator eingebracht sein.

Bei einer besonders vorteilhaften Vorrichtung ist derart ausgebildet, daß die Strahlungsquelle gepulste Strahlung mit einem ersten Strahlengang und/oder mindestens einem zweiten Strahlengang gleichzeitig oder zeitversetzt bereitstellt.

Es kann beispielsweise erforderlich sein, zur Triggerung der Gasentladung Strahlung mit über die Zeit variierender Intensität in Form von Pulsen in den Entladungsraum einzubringen. Die Strahlungsquelle ist hierzu derart ausgelegt, daß sowohl eine Pulsdauer und Frequenz als auch die Intensität gesteuert werden kann.

35

Die von der Strahlungsquelle bereitgestellte Strahlung kann beispielsweise mittels eines Strahlteilers über einen ersten Strahlengang bzw. einen zweiten Strahlengang in den Entladungsraum eingebracht werden.

5

Dies ist selbstverständlich auch unter Einsatz mehrerer Strahlungsquellen im synchronen oder asynchronen Strahlungsbetrieb möglich. Auch können durch unterschiedliche Strahlungsquellen Strahlungen mit verschiedenen Wellenlängen in den Entladungsraum eingeleitet werden..

10

Beispielsweise kann ein zwischen Anode und Kathode vorhandenes Arbeitsgas mittels einer zeitversetzt eingebrachten Strahlung zusätzlich ionisiert werden, um dessen elektrische Leitfähigkeit gezielt zu erhöhen. Eine besonders effektive Ionisation des Arbeitsgases führt zu einer resonanten Energieeinkopplung. Schließlich kann die Position des Plasmas stabilisiert werden, und es stellt sich ein besonders hoher Wirkungsgrad der Gasentladung ein.

20

Zur weiteren Verbesserung der Stabilität der Plasmabildung kann die Vorrichtung derart ausgestaltet werden, daß das Elektrodensystem mindestens eine Hilfselektrode aufweist. Diese Hilfselektrode ist beispielsweise zwischen Anode und Kathode im Entladungsraum angeordnet. Sie dient beispielsweise während des Entladungsbetriebs einer Regulierung bzw. Homogenisierung einer aufgrund von Erosion der Elektroden auftretenden Veränderung des elektrischen Feldes.

25

30

Eine besonders vorteilhafte Ausführungsform der Vorrichtung sieht vor, daß die Strahlung auf mindestens eine Elektrode des Elektrodensystems fokussiert ist. Beispielsweise ist die Strahlung auf die Hilfselektrode fokussiert, um bei Auftreffen der Strahlung Elektrodenmaterial zu verdampfen; das beispielsweise als Arbeitsgas für die Gasentladung dient. Es ist hierbei nicht mehr notwendig, daß ein Arbeitsgas kon-

35

tinuierlich im Entladungsraum vorhanden ist. Eine mögliche Kontamination optischer Komponenten in einem Lithographiegerät durch die über den Strahlaustritt den Entladungsraum verlassenden Partikel des Arbeitsgases wird auf diese Weise gesenkt. Zudem führt die Fokussierung der Strahlung auf eine Elektrode zu einer verbesserten Vorionisation, so daß eine höhere Reproduzierbarkeit beim Zünden der Gasentladung eintritt. Eine Fokussierung der Strahlung auf die Hilfselektrode ermöglicht zudem die Schonung der durch Erosion und Strahlung thermisch stark beanspruchten Anode bzw. Kathode.

Weiterhin kann die Vorrichtung derart gestaltet werden, daß zumindest die mit der Strahlung beaufschlagte Elektrode im wesentlichen aus Wolfram, Molybdän, Eisen, Kupfer, Zinn, Graphit, Indium, Tellur, Iod einer Legierung bzw. einer chemischen Verbindung daraus oder Stahl hergestellt ist. Selbstverständlich sind alle elektrisch leitfähigen Materialien für das Elektrodenystem vom Prinzip her einsetzbar.

Durch ein Elektrodenmaterial mit einem hohen Schmelzpunkt und einer hohen Wärmeleitfähigkeit können insbesondere zum Entladungsraum hin weisende Elektrodenoberflächen eine längere Lebensdauer erreichen.

Weiterhin ist es möglich, eine Zinn, Indium, Tellur und/oder Iod enthaltende Elektrode im Entladungsraum anzuordnen, die quasi als Opferelektrode beim Auftreffen der Strahlung einen Dampf als Arbeitsgas bereitstellt, der besonders effizient bei Zündung des Plasmas EUV-Strahlung und/oder weiche Röntgenstrahlung emittiert.

Eine weitere Ausführungsform der Vorrichtung sieht vor, daß die Strahlung mit einem punkt-, kreis-, ring-, linienförmigen Muster und/oder einer Kombination daraus auf die Elektrode auftrifft.

Beispielsweise kann durch ein kreisförmiges Muster mit einem einstellbaren Durchmesser eine Intensitätsverteilung der auf eine planare Elektrode fokussierten Strahlung in Abhängigkeit von Strahlungsdauer und Wellenlänge erzielt werden. Das stellt eine sichere Zündung des Plasmas sicher und vermeidet weiterhin weitgehend die Elektrodenerosion.

Andere flächige Verteilungen der Strahlung auf der Elektrode beeinflussen positiv die Verdampfungsrate zum Erzeugen des Arbeitsgases, Volumen und Expansionsgeschwindigkeit der Vorionisationswolke und/oder Anzahl und kinetische Energie der Ladungsträger.

Zur weiteren Stabilisierung des Plasmas, sieht eine vorteilhafte Weiterbildung der Vorrichtung vor, daß die mit der Strahlung beaufschlagte Elektrode mindestens eine zum Entladungsraum hin offene mindestens an drei Seiten von Elektrodenmaterial begrenzte Ausnehmung aufweist.

Insbesondere durch Fokussierung der Strahlung auf die Ausnehmung oder deren Umgebung können die Ladungsträger insoweit ausgerichtet werden, daß das Plasma ein relativ kleines Volumen erreicht. Eine Anordnung der Ausnehmung gegenüberliegend zum Strahlenaustritt legt eine Symmetrieachse im Entladungsraum fest, auf der das Plasma liegt. Hierdurch kann eine weitere Verbesserung bei der Positionierung des Plasmas erreicht werden und eine relativ verlustarme Auskopplung der vom Plasma emittierten EUV-Strahlung über den Strahlaustritt gewährleistet werden.

Zur weiteren Minimierung der Elektrodenerosion kann die Vorrichtung derart weitergebildet werden, daß die Ausnehmung ein Sackloch, eine Nut oder Hohlraum mit konstantem oder variablem Querschnitt ist, die wahlweise eine Vertiefung oder eine Hinterschneidung aufweist. Beispielhaft kann durch eine Fokussierung der Strahlung in einem Sackloch mit einer der

vorstehend beschriebenen Formen der Intensitätsverteilung, eine intensivere Vorionisation des Arbeitsgases erreicht werden, die zu einem besonders stabilen Betrieb der Gasentladung und einem kleinen Plasmavolumen führt.

5

Bei Fokussierung der Strahlung auf beispielsweise zum Sackloch benachbarte Elektrodenoberflächen ist es möglich, einen Stromfluß auf eine größere Elektrodenoberfläche zu verteilen, wobei die Innenwandungen des Sacklochs vor Erosion weitgehend geschützt sind. Des weiteren tritt eine Reduzierung der Erosion bei Stromfluß von den Elektroden zum Plasma aufgrund einer vergrößerten Oberfläche auf.

10

Ist im Gegensatz dazu ein Plasma räumlich nahe zur Elektrodenoberfläche angeordnet, tritt aufgrund extrem hoher thermischer Belastung üblicherweise eine hohe Erosionsrate auf, die die Standzeit der Elektroden extrem verkürzt. Mittels beispielsweise einer nutenförmigen Ausnehmung kann sowohl der Abstand zum Plasma vergrößert werden, als auch eine größere Elektrodenoberfläche zur besseren Verteilung der auftreffenden thermischen Energie erzielt werden.

15

20

Bei Fokussierung der Strahlung in den Hohlraum bildet sich ähnlich zur Hohlkathode eine besonders dichte Vorionisationswolke aus. Zudem kann mittels der Vertiefung oder der Hinterschneidung die Elektrodenoberfläche weiter vergrößert werden. Die Vergrößerung der Oberfläche führt neben einer verringerten Elektrodenerosion zu einer verbesserten großflächigen Absorption der auftreffenden Strahlungsenergie.

25

30

Bei einer besonders vorteilhafte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist es vorgesehen, daß das Arbeitsgas mittels einer Zuführung oder eines mindestens auf eine Elektrode fokussierten Hilfsstrahls in den Entladungsraum einbringbar ist.

35

So kann eine beispielsweise in die Ausnehmung mündende Zuführung zu einer Verbesserung des Gasaustausches zwischen Ausnehmung und Entladungsraum dienen. Eventuell nach Verlöschen des Plasmas in der Ausnehmung verbliebene Ladungsträger und/oder Ionen werden mittels des nachströmenden Gases rasch umgewandelt. Dies macht einen Entladungsbetrieb mit sehr hohen Repetitionsraten möglich.

Mit einem durch die Strahlungsquelle oder eine weitere Einrichtung auf beispielsweise eine als Opferelektrode dienende Hilfselektrode fokussierten Hilfsstrahl können besonders effizient EUV-Strahlung und/oder weiche Röntgenstrahlung emittierende Partikel in den Entladungsraum eingebracht werden.

15

Um eine besonders kompakte Vorrichtung zu erreichen, kann es vorgesehen werden, daß die Strahlung über eine Apertur in den Entladungsraum einbringbar ist. Die Apertur kann beispielsweise auf der von dem Strahlaustritt und der Ausnehmung definierten Achse angeordnet sein, so daß die Strahlung achsparallel in den Entladungsraum einbringbar ist. Die Strahlungsquelle kann unter anderem in Verlängerung der Achse vom Strahlaustritt her gesehen hinter dem Entladungsraum angeordnet sein.

25

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der vorbeschriebenen Vorrichtungen ist dadurch gegeben, daß die Strahlung eine Wellenlänge im UV-, IR- und/oder sichtbaren Bereich aufweist. Die zur Triggerung der Plasmabildung eingebrachte Strahlung kann eine Wellenlänge im Bereich von etwa 190 nm bis 1500 nm bereitstellen, wobei eine sichere Zündung des Plasmas gewährleistet ist.

Die Vorrichtung kann vorteilhafterweise derart weitergebildet werden, daß die Strahlung in einem Winkel von 0° bis 90° zur Oberfläche auf die Elektrode auftrifft.

35

Während des Entladungsbetriebs kann durch Variation des Winkels zwischen Elektrodenoberfläche und Strahlengang, wie auch durch Positionierung der Strahlerngänge auf der Elektrodenoberfläche, eine Absorption der eingebrachten Strahlung durch das im Entladungsraum vorhandene Arbeitgas positiv beeinflusst werden. Zudem können Interferenzerscheinungen zwischen der Strahlung und der EUV-Strahlung und/oder weicher Röntgenstrahlung verringert werden.

10

Weiterhin kann die Vorrichtung derart ausgestaltet werden, daß die Strahlung in einen symmetrischen oder asymmetrischen Entladungsraum einbringbar ist. Bei einer zylindersymmetrischen Ausgestaltung des Entladungsraums kann mit einem von Anoden und Kathoden gebildeten symmetrischen Elektroden-
system bei Anlegen einer Spannung ein homogenes elektrisches Feld erzeugt werden, das zur stabilen Plasmabildung beitragen kann. Aufgrund einer hohen kinetischen Energie der im Plasma gebildeten Ionen können diese entlang der Achse über den Strahlaustritt jedoch in das optische System eines Lithogra-
phiegeräts gelangen.

Beispielsweise kann ein asymmetrischer Entladungsraum durch ein unsymmetrisches Anordnen mindestens einer Elektrode zum Strahlaustritt geschaffen werden. Ein wesentlicher Teil der vom Plasma erzeugten Ionen verbleibt im Entladungsraum oder werden hauptsächlich in eine vom Strahlaustritt wegweisende Richtung geführt.

Nach einer Weiterbildung der Vorrichtung ist es vorgesehen, daß eine Zeitspanne zwischen der Einbringung der Strahlung und dem Übertragen der elektrischen Energie oder zwischen dem Einbringen eines bzw. des Hilfsstrahls und der Strahlung einstellbar ist.

35

Nach Einbringen der Strahlung in den Entladungsraum kann sich dadurch die Vorionisationswolke im Elektrodenzwischenraum ausdehnen. Bei Erreichen einer günstigen Verteilung und räumlichen Anordnung der Wolke im Entladungsraum kann die Gasentladung mit Anlegen einer elektrischen Spannung an Kathode und Anode gezündet werden. Typischerweise liegt die einstellbare Zeitspanne im Bereich von 0 bis etwa 1000 Nanosekunden. Unter anderem kann eine Pulsstromversorgung mit dem Elektrodenystem elektrisch verbunden sein, das elektrische Energie überträgt. Durch Optimierung der Zeitspanne kann während des Entladungsbetriebs der Plasmaort definiert und eine besonders hohe Umwandlungseffizienz der eingekoppelten elektrischen Energie in EUV-Strahlung und/oder weiche Röntgenstrahlung erreicht werden.

15

Auch kann eine Zeitspanne zwischen dem Einbringen des Hilfsstrahls und der Strahlung in den Entladungsraum vorgesehen werden. Durch den Hilfsstrahl wird beispielsweise eine geeignete Menge an Elektrodenmaterial verdampft, die als Arbeitsgas dient. Die Strahlung wird zeitlich später eingebracht, um nach optimaler Verteilung des Arbeitsgases die benötigten Ladungsträger im Entladungsraum bereitzustellen. Die einstellbare Zeitspanne liegt hier im Bereich von 0 bis etwa 1000 Nanosekunden.

25

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung mehrerer Ausführungsbeispiele sowie aus den Zeichnungen, auf die Bezug genommen wird. Es zeigen:

30

Fig.1 einen schematischen Querschnitt eines ersten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung;

35

Fig.2a,b,c schematische Darstellungen von weiteren Ausführungsbeispielen der Vorrichtung mit unterschiedlichen Elektrodengeometrien;

- Fig.3a bis g weitere Ausführungsbeispiele einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit unterschiedlich fokussierter Strahlung auf eine Elektrodenoberfläche;
- 5 Fig.4a bis g weitere Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einer um und/oder in eine Ausnehmung fokussierten Strahlung;
- Fig.5a bis d weitere Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit unterschiedlich gestalteten Ausnehmungen;
- 10 Fig.6a und b weitere Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einer Zuführung bzw. Apertur;
- Fig.7a bis h weitere Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einer um und/oder auf eine Nut fokussierten Strahlung;
- 15 Fig.8a bis d weitere Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einer auf verschiedene Elektroden eines Elektrodensystems fokussierten Strahlung;
- 20 Fig.9a bis g weitere Ausführungsbeispiele einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einem ersten und einem zweiten Strahlengang, die in Form unterschiedlicher Muster auf eine Elektrodenoberfläche und/oder in eine Ausnehmung fokussiert sind;
- 25 Fig.10 ein Diagramm, in dem eine Strahlungsintensität über die Zeit aufgetragen ist;
- Fig.11 eine schematische Darstellung eines weiteren der Fig.2b ähnlichen Ausführungs beispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einer steuerbaren Stromversorgung;
- 30 Fig.11a Diagramme, in denen die Strahlungsintensität bzw. der Strom über die Zeit eingetragen wird;
- Fig.12 a bis f perspektivische Darstellung von weiteren Ausführungsbeispielen der erfindungsgemäßen Vor-
- 35

richtung mit einem asymmetrischen Elektroden-
system; und

Fig.13 eine schematische Darstellung einer gattungsgemä-
ßen Vorrichtung nach dem Stand der Technik.

5

Bei der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele
bezeichnen gleiche Bezugszeichen stets dieselben konstrukti-
ven Merkmale und beziehen sich, soweit im folgenden nichts
anderes gesagt ist, stets auf alle Figuren.

10

In Fig.1 ist ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfin-
dungsgemäßen Vorrichtung 10 zum Erzeugen von insbesondere
EUV-Strahlung 12 und/oder weicher Röntgenstrahlung 12a ge-
zeigt. Die Vorrichtung 10 weist einen Entladungsraum 14 auf,
15 der mindestens einen Strahlaustritt 16 hat und von einem
Elektrodensystem mit mindestens einer Anode 18 und einer
Kathode 20 sowie Isolatoren 19 teilweise umschließt.

20

Die Anode 18 und die Kathode 20 sind so angeordnet, daß
eine elektrische Energie durch eine Stromversorgung 21 mit-
tels in den Entladungsraum 14 einbringbarer Ladungsträger 24
in ein Plasma 26 eines Arbeitsgases 22 übertragen wird, wobei
das Plasma 26 die EUV-Strahlung 12 und/oder weiche Röntgen-
strahlung 12a emittiert.

25

Die zum Zünden des Plasmas 26 benötigten Ladungsträger
24 werden in den Entladungsraum 14 von mindestens einer
Strahlungsquelle 28, die mindestens eine Strahlung 30 er-
zeugt, bereitgestellt. Dabei ist unter Bereitstellung ge-
30 meint, daß die Strahlung 30 entweder die Ladungsträger 24 er-
zeugt oder selbst aufweist.

35

Bei einem in Fig.2a gezeigten zweiten Ausführungsbei-
spiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung 10 erzeugt die Strah-
lungsquelle 28 kohärente oder inkohärente Strahlung 30 mit
einer hohen Energiedichte, wobei Ladungsträger 24 durch Auf-

treffen der Strahlung 30 auf die planare Kathode 20 des Elektroden-
systems in einem zylindersymmetrischen Entladungsraum
14 bereitgestellt werden. Die Strahlungsquelle 28 kann hier-
bei ein Laser oder eine Blitzlichtlampe sein, die monochroma-
5 tische oder über einen Wellenlängenbereich verteilte Strah-
lung 30 erzeugt.

Im Falle eines in Fig.2b gezeigten dritten Ausführungs-
beispiels stellt die Strahlungsquelle 28 massebehaftete
10 Strahlung 30 bereit, die aus mindestens einem Elektron und/
oder einem Ion besteht. Die Strahlungsquelle 28 kann hierbei
eine Elektronen- oder Ionenquelle sein, die eine gepulste
Strahlung 30 mit einem ersten Strahlengang 32 in den Entla-
dungsraum 14 mit symmetrischer Anordnung des Elektroden-
15 systems einbringt. Die Strahlung 30 ist auf ein Sackloch 38
der Kathode 20 fokussiert. Durch das gepulste Einbringen der
Strahlung 30, die Ladungsträger 24 in Form von Elektronen mit
zeitlich variierender Intensität in den Entladungsraum 14
einbringt, kann ein Plasma 26 getriggert werden. Typischer-
20 weise ist ein Strahlungspuls kürzer als etwa 100 Nanosekunden
und bringt eine Strahlungsenergiepuls im Bereich von etwa 0,2
bis 200 Millijoule in den Entladungsraum 14 ein.

Aus Fig.2c, die ein weiteres Ausführungsbeispiel zeigt,
25 ist entnehmbar, daß die Strahlung 30 in einen Hohlraum 42 in
der Kathode 20 fokussiert ist. Ein Einbringen der Strahlung
30 in eine zum Entladungsraum 14 hin offene mindestens an
drei Seiten von Elektrodenmaterial begrenzte Ausnehmung, wie
hier in Form des Hohlraums 42 gezeigt, führt zu einer Vorio-
30 nisationswolke, die durch eine Öffnung 17 eine gerichtete
Ausbreitung der im Hohlraum 42 strahlungsinduziert gebildeten
Ladungsträger 24 ermöglicht, so daß ein besonders kleinvolu-
miges Plasma 26 entsteht. Mittels der Öffnung 17 und dem
Strahlaustritt 16 wird zudem eine Symmetrieachse definiert,
35 die zum Festlegen eines Plasmaorts führt.

Bei dem in Fig.3 gezeigten weiteren Ausführungsbeispiel ist eine Strahlung 30 mit einem ersten Strahlengang 32 und einem zweiten Strahlengang 34 auf eine Kathode 20 fokussiert. Selbstverständlich kann hierbei die Strahlung 30 gleichzeitig, das heißt synchron, über die beiden hier gezeigten Strahlengänge 32,34 mittels einer oder mehrerer Strahlungsquellen 28 eingeleitet werden. Zudem können eine oder mehrere Strahlungsquellen 28 die Strahlung 30 zeitversetzt, das heißt asynchron, über einen ersten Strahlengang 32 und einen zweiten Strahlengang 34 in den Entladungsraum 14 einbringen. Trifft die Strahlung 30, wie in Fig.3d bis 3g gezeigt, auf räumlich voneinander beabstandete Bezirke einer Elektrodenoberfläche, so kann eine vorbestimmte Intensitätsverteilung der Strahlung 30 auf der Kathode 20 erfolgen, wobei eine optimale Anzahl von Ladungsträgern 24 bei gleichzeitiger Minimierung einer Erosion der Kathode 20 erreicht werden kann.

Wie in Fig.3a gezeigt, kann die Strahlung 30 punktförmig auf eine Elektrodenoberfläche fokussiert sein. Eine punktförmige Konzentration der Strahlung 30 führt hierbei zur sicheren Ionisation und/oder Verdampfung von Elektrodenmaterial.

Beispielsweise beim Einbringen einer Strahlung 30 mit einer kurzen Wellenlänge im UV-Bereich, kann die Fokussierung der Strahlung 30 über den ersten Strahlengang 32 auch, wie in Fig.3b gezeigt, in einem relativ großflächigen Punkt auftreffen. Aus Fig.3c ist ersichtlich, daß die Strahlung 30 auch mit einem kreisförmigen Muster auf die Elektrodenoberfläche fokussiert sein kann, dessen Durchmesser während des Entladungsbetriebs derart variiert wird, daß eine optimale Anzahl von Ladungsträgern 24 im Entladungsraum 14 eingebracht wird. Es versteht sich von selbst, daß auch unregelmäßige Muster und abwechselnde Muster während des Betriebs auf eine oder mehrere Elektroden abgebildet werden können.

35

Gemäß Fig.3d bis g kann die Strahlung 30 über einen ersten Strahlengang 32 derart auf der Elektrodenoberfläche fokussiert werden, daß drei-, vier- und sechseckige punktförmige bzw. linienförmige Muster über einen ersten Strahlengang 32,32' und einem zweiten Strahlengang 34,34' entstehen. Dies kann selbstverständlich auch über noch mehr Strahlengänge erfolgen.

In Fig.4 ist gezeigt, daß die Strahlung 30 über einen ersten Strahlengang 32 und einen zweiten Strahlengang 34 auf eine Kathode 20 fokussiert ist, die eine Ausnehmung in Form eines Hohlraums 42 aufweist.

Aus den Fig.4a bis g ist entnehmbar, daß die Strahlung 30 derart auf die Elektrodenoberfläche fokussierbar ist, daß die Strahlungsintensität nach Fig.4a in den Hohlraum 42 fokussierbar ist. Nach Fig.4b beaufschlagt die Strahlung 30 einen Bereich der Elektrodenoberfläche, in dem die Ausnehmung liegt. Bei dem in Fig.4c gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Strahlung 30 sowohl in die Ausnehmung als auch um die Ausnehmung herum fokussiert. In den Fig.4d bis 4g trifft die Strahlung 30 nahe zur Ausnehmung auf. Wie aus den Fig.4a bis g ersichtlich, weisen die Ausnehmungen kreisrunde Öffnungen 17 zum Entladungsraum 14 auf. Die Öffnung 17 kann selbstverständlich auch jede andere symmetrische oder unsymmetrische Form aufweisen.

Durch die Ausnehmung wird insbesondere die Elektrodenoberfläche vergrößert, so daß eine bessere Verteilung und Abführung einer durch das Plasma 26 übertragenen Wärmeenergie erfolgt. Bei Fokussierung der Strahlung 30 auf die zur Ausnehmung räumlich naheliegenden Elektrodenoberfläche, kann beispielsweise ein großflächig verteilter Strom in das Plasma 26 geführt und somit eine Erosion in der Ausnehmung reduziert werden.

Die Fig.5a bis d zeigen weitere Ausführungsbeispiele der Vorrichtung 10 mit einem zum Strahlaustritt 16 rotationssymmetrischen Elektrodensystem. Der Strahlaustritt 16 und die Öffnung 17 bilden eine Achse zum Festlegen des Plasmaorts. An die Öffnung 17 schließt sich beispielsweise ein Sackloch 38, eine Nut 40 oder ein Hohlraum 42 an, in denen bei Einbringen der Strahlung 30 eine Vorionisation des Arbeitsgases 22 stattfindet.

10 Zur effektiveren strahleninduzierten Bildung von Ladungsträgern 24 weist die in Fig.5c gezeigte Nut 40 beispielsweise eine Vertiefung 44 auf. Zudem kann beispielsweise ein Hohlraum 42 eine Hinterschneidung 46 zur Ausbildung einer Vorionisationskammer in die Elektrode, wie in Fig.5d gezeigt, 15 in eine Kathode 20, eingebracht sein.

Die über die Öffnung 17 austretenden Ladungsträger 24 weisen eine in Richtung auf den Strahlaustritt 16 gerichtete Translationsbewegung auf, so daß ein ortsstabiles Plasma 26 20 zündbar ist, dessen emittierte EUV-Strahlung 12 und/oder weiche Röntgenstrahlung 12a relativ verlustfrei über den Strahlaustritt 16 ausgekoppelt werden kann.

An die Ausnehmung kann, wie in Fig.6a gezeigt, eine Zuführung 48 angeschlossen werden, um ein Arbeitsgas 22 in den Entladungsraum 14 einzubringen. Das Arbeitsgas 22 kann bedarfsgerecht portioniert zur Zündung des Plasmas 26 ohne dauerhaft im Entladungsraum 14 vorliegen zu müssen, eingebracht werden, so daß eine Kontamination von optischen Komponenten 30 eines Lithographiegeräts durch das über den Strahlaustritt 16 ausströmende Arbeitsgas 22 verringert wird.

Weiterhin ist eine höhere Frequenz zum Erzeugen des Plasmas realisierbar, da eventuell verbliebene Ladungsträger 35 24 mittels des über die Zuführung 48 nachströmenden Arbeitsgases 22 abgebaut werden. Eine üblicherweise die Repetitions-

rate drastisch verringernde Wartezeit für eine Rekombination der verbliebenen Ladungsträger 24 wird dadurch reduziert.

Bei dem in Fig.6b gezeigten Ausführungsbeispiel wird die Strahlung 30 einer Strahlungsquelle 28 über eine Apertur 52 in das Elektrodensystem eingekoppelt. Die Strahlung 30 ist hierbei räumlich nahe zu der Kathode 20 und dem Plasmaort auf die Anode 18 fokussiert. Bei Auftreffen der Strahlung 30 auf die Anode 18 bildet sich eine Vorionisationswolke, die einen niederohmigen Kanal zur effektiven Einkopplung der elektrischen Energie über das Elektrodensystem schafft.

Bei dem in Fig.7 gezeigten Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung 10 ist die Strahlung 30 auf eine durchgehende Nut 40 ausgerichtet.

In Fig.7a bis h sind einige Muster gezeigt, auf die ein erster Strahlengang 32 bzw. ein zweiter Strahlengang 34 fokussiert sind. Insbesondere bei Plasmen mit hoher Strahlungsintensität tritt eine extrem hohe thermische Belastung und Elektrodenerosion auf. Mit einer durchgehenden Nut 40 kann die Elektrodenoberfläche derart vergrößert werden, daß ein besserer Wärmeübertrag einerseits und eine genügend hohe Zahl von Ladungsträgern 24 zum sicheren Zünden des Plasmas 26 andererseits bereitgestellt werden.

In den Fig.8a bis d ist gezeigt, daß die Strahlung 30 auf verschiedene Elektroden fokussiert ist. Die Strahlung 30 trifft hierbei in einem Winkel α von 0° bis 90° auf das Elektrodensystem auf. Eine Variation des Winkels α kann bei Fokussierung der Strahlung 30 auf, wie in Fig.8a und 8b gezeigt, die Anode 18 beispielsweise zu einer bedarfsgerechten Steuerung von Lage und Größe der Vorionisationswolke genutzt werden.

Die Strahlung 30 kann, wie in Fig.8b und 8d gezeigt, auf eine Hilfselektrode 36 fokussiert sein. Die Hilfselektrode 36 ist in Fig.8b im Elektrodenzwischenraum angeordnet und kann zur Steigerung der Plasmastabilität auf ein zusätzliches elektrisches Potential gelegt werden. Bei dem in Fig.8b gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Strahlung 30 sowohl auf die Hilfselektrode 36 als auch auf die Kathode 20 fokussiert.

Bei dem in Fig.8d gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Hilfselektrode 36 in eine Nut 40 eingebracht. Bei Auftreffen der Strahlung 30 kann eine Materialmenge verdampft werden, die als Arbeitsgas 22 dient.

Die mit der Strahlung 30 beaufschlagten Elektroden 18,20 bzw. 36 weisen im wesentlichen Wolfram, Molybdän, Eisen, Kupfer, Zinn, Graphit, Indium, Antimon, Tellur, Iod, eine Legierung oder chemische Verbindung daraus oder Stahl auf. Durch einen hohen Anteil an hochschmelzenden Elementen, wie Wolfram oder Molybdän, kann eine Erosion der Elektroden während des Entladungsbetriebs nahezu vermieden und eine sehr stabile Geometrie des Entladungsraums 14 sichergestellt werden. Hierdurch ist eine weitere Stabilisierung der Plasmabildung möglich. Aufgrund einer hohen thermischen Leitfähigkeit des Elektrodenmaterials, wie beispielsweise bei Kupfer, ist die vom Plasma 26 übertragene Wärmeenergie besonders schnell ableitbar.

Im Falle einer zinnhaltigen Hilfselektrode 36 kann, wie in Fig.8d gezeigt, mittels der eingebrachten Strahlung 30 ein Arbeitsgas 22 in den Entladungsraum 14 eingeführt werden, das mit hohem Wirkungsgrad zur eingekoppelten elektrischen Energie im Plasma 26 EUV-Strahlung 12 und/oder weiche Röntgenstrahlung 12a emittiert.

Ein in Fig.9 gezeigtes weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung 10 stellt einen Hilfsstrahl 50

bereit, der über einen ersten Strahlengang 32 in ein Sackloch 38 fokussiert ist. Dessen Wellenlänge, Pulsdauer und Fokussierung während des Entladungsbetriebs ist so einstellbar, daß ein verdampfendes Elektrodenmaterial als Arbeitsgas 22 in den Entladungsraum 14 eindringt. Nach einer Zeitverzögerung, die zur optimalen Verteilung einer im Sackloch 38 strahlungsinduziert gebildeten Vorionisationswolke dient, wird Strahlung 30 über einen zweiten Strahlengang 34 bzw. 34' in den Entladungsraum 14 eingebracht, um das Zünden des Plasmas 26 einzuleiten und einen Stromansatz zum Übertragen der elektrischen Energie in das Plasma 26 festzulegen.

Die in Fig. 9a bis g gezeigten Strahlengänge 32, 34 bzw. 34' der auf die Elektrodenoberfläche fokussierten Strahlung 30 bzw. eines Hilfsstrahls 50 bilden beispielsweise punktförmige und linienförmige Muster, die nahe zur oder in die Ausnehmung fokussiert sind. Neben einer optimalen strahleninduziert verdampfenden Menge eines als Arbeitsgas 22 dienenden Elektrodenmaterials kann durch geeignete geometrische Anordnung der Muster durch den ersten Strahlengang 32 bzw. den zweiten Strahlengang 34 bei geringer Elektrodenerosion eine genügend große Anzahl von Ladungsträgern 24 in der Vorionisationswolke erzeugt werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Strahlung 30 auch zeitversetzt über die Strahlengänge 32, 34 eingebracht wird.

In Fig. 10 ist die Strahlungsintensität des Hilfsstrahls 50 und der Strahlung 30 über die Zeit aufgetragen. Die Fläche unter der Intensitätsverteilung des Hilfsstrahls 50 stellt die zum Verdampfen und Ionisieren des als Arbeitsgas 22 dienenden Elektrodenmaterials eingekoppelte Energie dar.

Zwischen dem Maximum der Intensität des Hilfsstrahls 50 und der Strahlung 30 liegt eine Zeitspanne Δt von nahezu 0 bis zu 1000 Nanosekunden, um ein möglichst homogen verteiltes kleinvolumiges Emissionsgebiet bei der Zündung des Plasmas 26

durch die in den Entladungsraum 14 eingebrachte Strahlung 30 zu gewährleisten.

Fig.11 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 10, bei dem eine Strahlungsquelle 28 gepulst Ladungsträger 24 in den Entladungsraum 14 einbringt. Die Strahlung 30 ist über einen ersten Strahlengang 32 auf ein Sackloch 38 in der Kathode 20 fokussiert. Nach einer Zeitspanne Δt , hat sich eine Vorionisationswolke optimal in den Entladungsraum 14 ausgedehnt. Mittels einer elektrisch mit der Anode 18 und Kathode 20 verbundenen Pulsstromversorgung 54 wird das Plasma 26 gezündet und ein effektiver Stromfluß in das gebildete Plasma 26 ermöglicht, um EUV-Strahlung 12 und/oder weiche Röntgenstrahlung 12a über den Strahlaustritt 16 aus dem Entladungsraum 14 auszukoppeln.

Nach dem in Fig.11a gezeigten Diagramm wird in einem ersten Schritt Strahlung 30 in den Entladungsraum 14 eingebracht. Nach einer Zeitspanne Δt von nahezu 0 bis zu 1000 Nanosekunden wird über den von der Ionisationswolke bereitgestellten niederohmigen Kanal ein über die Zeit veränderlicher Strom eingekoppelt.

In Fig.12a bis f sind weitere Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Vorrichtung 10 gezeigt, die einen asymmetrischen Entladungsraum 14 aufweisen.

Bei dem in Fig.12a gezeigten Ausführungsbeispiel ist die von der Strahlungsquelle 28 erzeugte Strahlung 30 in ein kreisförmiges Sackloch 38 der Kathode 20 fokussiert.

In dem in Fig.12b gezeigten Ausführungsbeispiel trifft die Strahlung 30 in eine durchgehende Nut 40 auf.

Im Falle des Ausführungsbeispiels der Fig.12c ist die Strahlung 30 auf einen Hohlraum 42 ausgerichtet, welcher eine

Hinterschneidung 46 aufweist. Bei diesen drei Ausführungsbeispielen trifft die Strahlung mit einem Winkel α von 90° zur Elektrodenoberfläche auf.

5 Im Falle des in Fig.12d gezeigten Ausführungsbeispiels trifft eine Strahlung 30, deren Wellenlänge im UV-, IR- und/oder sichtbaren Bereich liegt, mit einem Winkel α von etwa 45° auf eine asymmetrisch zum Strahlaustritt 16 im Entladungsraum 14 angeordnete Hilfselektrode 36 auf.

10

 Die Strahlungsquelle 28 des in Fig.12e gezeigten Ausführungsbeispiels ist derart angeordnet, daß eine Strahlung 30, die beispielsweise eine Wellenlänge von 1064 nm aufweist und von einem Neodym-YAG Laser erzeugbar ist, unter einem Winkel α von etwa 20° auf eine Elektrodenoberfläche einer in eine Nut 40 der Kathode 20 angeordneten Hilfselektrode 36 auftrifft.

20 Die in der Nut 40 der Kathode 20 eingebrachte Hilfselektrode 36 kann, wie das Ausführungsbeispiel in Fig.12f zeigt, von einer Anode 18 überdeckt sein. Daher ist die Strahlung 30 mit einer Wellenlänge von bis zu 1500 nm mit einem spitzen Winkel α in den Entladungsraum 14 einzubringen.

25 Bei den in den Fig.12a bis f gezeigten Ausführungsbeispielen führt eine asymmetrische Ausgestaltung des Entladungsraums 14 zu einer räumlichen Anordnung des Plasmas 26, bei der ionisierte Partikel bevorzugt in einem Winkelbereich von 60° bis 90° zur mit Strahlung 30 beaufschlagten Elektrodenoberfläche im elektrischen Feld beschleunigt werden. Durch
30 eine zur Vorzugsrichtung der Partikel versetzte Anordnung des Strahlaustritts 16 kann die vom Plasma 26 emittierte EUV-Strahlung 12 und/oder weiche Röntgenstrahlung 12a dann mit einem Beobachtungswinkel kleiner als etwa 60° bzgl. der beaufschlagten Kathode 20 in ein optisches System eingekoppelt
35 werden, wobei die Partikel im wesentlichen im asymmetrischen

Entladungsraum 14 zurückgehalten werden. Es kann also eine Verringerung der Kontamination des optischen Systems erreicht werden.

- 5 Die vorliegende Erfindung stellt ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erzeugen von EUV-Strahlung und/oder weicher Röntgenstrahlung zur Verfügung, die mit technisch einfachen Mitteln eine sichere Zündung der Gasentladung bei hohen Wiederholfrequenzen ermöglicht.

16.12.2003

Bezugszeichenliste:

5		
	10	Vorrichtung
	12	EUV-Strahlung
	12a	weiche Röntgenstrahlung
	14	Entladungsraum
10	16	Strahlaustritt
	17	Öffnung
	18	Anode
	19	Isolator
	20	Kathode
15	21	Stromversorgung
	22	Arbeitsgas
	24	Ladungsträger
	25	Triggereinrichtung
	26	Plasma
20	28	Strahlungsquelle
	30	Strahlung
	32,32'	erster Strahlengang
	34,34'	zweiter Strahlengang
	36	Hilfselektrode
25	38	Sackloch
	40	Nut
	42	Hohlraum
	44	Vertiefung
	46	Hinterschneidung
30	48	Zuführung
	50	Hilfsstrahl
	52	Apertur
	54	Pulsstromversorgung
	α	Winkel
35	Δt	Zeitspanne
	I	Strahlungsintensität

16.12.2003

5

Patentansprüche:

1. Verfahren zum Erzeugen von insbesondere EUV-Strahlung
10 (12) und/oder weicher Röntgenstrahlung (12a), die von
einem Plasma (26) emittiert wird, das in einem Arbeits-
gas (22) in einen Entladungsraum (14) gebildet wird, der
mindestens einen Strahlaustritt (16) aufweist und ein
15 Elektrodensystem mit mindestens einer Anode (18) und
mindestens einer Kathode (20) aufweist, das elektrische
Energie mittels in den Entladungsraum (14) eingebrachter
Ladungsträger (24) in das Plasma (26) überträgt, da-
durch gekennzeichnet, daß zur Bereitstellung der La-
dungsträger (24) in den Entladungsraum (14) mindestens
20 eine von mindestens einer Strahlungsquelle (28) erzeugte
Strahlung (30) eingeleitet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß die Strahlungsquelle (28) koherente oder inkohärente
25 Strahlung (30) hoher Energiedichte erzeugt, wodurch La-
dungsträger (24) durch Auftreffen der Strahlung (30) auf
das Elektrodensystem in den Entladungsraum (14) freige-
setzt werden.
- 30 3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß die Strahlungsquelle (28) massebehaftete Strahlung
(30) erzeugt, die aus mindestens einem Elektron und/oder
einem Ion besteht.
- 35 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch ge-
kennzeichnet, daß die Strahlungsquelle (28) gepulste
Strahlung (30) mit einem ersten Strahlengang (32) und/
oder mindestens einen zweiten Strahlengang (34) gleich-

zeitig oder zeitversetzt in den Entladungsraum (14) einbringt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Elektrodensystem mindestens eine Hilfselektrode (36) aufweist, die auf ein zusätzliches Potential gelegt wird und/oder als Opferelektrode Ladungsträger (24) oder Arbeitsgas (22) zur Verfügung stellt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlung (30) auf mindestens eine Elektrode (18,20,36) des Elektrodensystems fokussiert wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlung (30) mindestens eine im wesentlichen aus Wolfram, Molybdän, Eisen, Kupfer, Zinn, Graphit, Indium, Antimon, Tellur, Iod, einer Legierung bzw. einer chemischen Verbindung daraus oder aus Stahl bestehende Elektrode (18,20,36) beaufschlagt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlung (30) mit einem punkt-, kreis-, ring-, linienförmigen Muster und/oder einer Kombination daraus auf die Elektrode (18,20,36) geleitet wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlung (30) in mindestens eine zum Entladungsraum (14) hin offene und mindestens an drei Seiten von Elektrodenmaterial begrenzte Ausnehmung der beaufschlagten Elektrode (18,20,36) eingebracht wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Arbeitsgas (22) mittels einer Zuführung (48) oder eines auf die Elektrode (18,20,36)

fokussierten Hilfstrahls (50) in den Entladungsraum eingebracht wird.

- 5 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlung (30) über den Strahlaustritt (16) oder eine Apertur (52) in den Entladungsraum (14) eingebracht wird.
- 10 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlung (30) eine Wellenlänge im UV-, IR- und/oder sichtbaren Bereich hat.
- 15 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlung (30) in einem Winkel (α) von 0° bis 90° zur Oberfläche der Elektrode (18, 20, 36) auftrifft.
- 20 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß eine Zeitspanne (Δt) zwischen dem Einbringen der Strahlung (30) und dem Übertragen der elektrischen Energie oder zwischen dem Einbringen eines bzw. des Hilfstrahls (50) und der Strahlung (30) eingestellt wird.
- 25 15. Vorrichtung (10) zum Erzeugen von insbesondere EUV-Strahlung (12) und/oder weicher Röntgenstrahlung (12a), die ein Plasma (26) emittiert, das in einem Arbeitgas (22) in einem Entladungsraum (14) gebildet ist, der mindestens einen Strahlaustritt (16) und ein Elektrodensystem mit mindestens einer Anode (18) und mindestens einer Kathode (20) aufweist, wodurch elektrische Energie mittels in den Entladungsraum (14) einbringbarer Ladungsträger (24) in das Plasma (26) übertragbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß zum Bereitstellen der Ladungsträger (24) mindestens eine Strahlungsquelle (28) vorhanden ist, die mindestens eine Strahlung (30) in den Entladungsraum (14) leitet.
- 30
- 35

16. Vorrichtung (10) nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlungsquelle (28) koherente oder inkoherente Strahlung (30) hoher Energiedichte erzeugt, wodurch Ladungsträger (24) durch Auftreffen der Strahlung (30) auf das Elektrodensystem in den Entladungsraum (14) freisetzbar sind.
17. Vorrichtung (10) nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlungsquelle (28) massebehaftete Strahlung (30) erzeugt, die mindestens ein Elektron und/oder ein Ion umfaßt.
18. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlungsquelle (28) gepulste Strahlung (30) mit einem ersten Strahlengang (32) und/oder mindestens einem zweiten Strahlengang (34) gleichzeitig oder zeitversetzt bereitstellt.
19. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 15 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß das Elektrodensystem mindestens eine Hilfselektrode (36) aufweist.
20. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 15 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlung (30) auf mindestens eine Elektrode (18,20,36) des Elektrodensystems fokussiert ist.
21. Vorrichtung (10) nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest die mit der Strahlung (30) beaufschlagte Elektrode (18,20,36) im wesentlichen aus Wolfram, Molybdän, Eisen, Kupfer, Zinn, Graphit, Indium, Antimon, Tellur, Iod, einer Legierung bzw. einer chemischen Verbindung daraus oder Stahl hergestellt ist.
22. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 15 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlung (30) mit einem punkt-, kreis-, ring-, linienförmigen Muster und/

oder einer Kombination daraus auf die Elektrode (18,20,36) auftrifft.

- 5 23. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 15 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die mit der Strahlung (30) beaufschlagte Elektrode (18,20,36) mindestens eine zum Entladungsraum (14) hin offene mindestens an drei Seiten von Elektrodenmaterial begrenzte Ausnehmung aufweist.
- 10 24. Vorrichtung (10) nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausnehmung ein Sackloch (38), eine Nut (40) oder Hohlraum (42) mit konstantem oder variablen Querschnitt ist, die wahlweise eine Vertiefung (44) oder eine Hinterschneidung (46) aufweist.
- 15 25. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 15 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß das Arbeitsgas (22) mittels einer Zuführung (48) oder eines mindestens auf eine Elektrode (18,20,36) fokussierten Hilfsstrahls (50) in den Entladungsraum (14) einbringbar ist.
- 20 26. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 15 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlung (30) über eine Apertur (52) in den Entladungsraum (14) einbringbar ist.
- 25 27. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 15 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlung (30) eine Wellenlänge im UV-, IR- und/oder sichtbaren Bereich aufweist.
- 30 28. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 15 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlung (30) in einem Winkel (α) von 0° bis 90° zur Oberfläche auf die Elektrode (18,20,36) auftrifft.
- 35

29. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 15 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlung (30) in einen symmetrischen oder asymmetrischen Entladungsraum (14) einbringbar ist.

5

30. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 15 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß eine Zeitspanne (Δt) zwischen dem Einbringen der Strahlung (30) und dem Übertragen der elektrischen Energie oder zwischen dem Einbringen eines bzw. des Hilfsstrahls (50) und der Strahlung (30) einstellbar ist.

10

5

Zusammenfassung:

10

15

20

25

Es wird ein Verfahren zum Erzeugen von insbesondere EUV-Strahlung (12) und/oder weicher Röntgenstrahlung (12a), die von einem Plasma (26) emittiert wird, beschrieben. Das Plasma (26) wird von einem Arbeitsgas (22) in einem Entladungsraum (14) gebildet, der mindestens einen Strahlaustritt (16) und ein Elektrodenystem mit mindestens einer Anode (18) und mindestens einer Kathode (20) aufweist. Dieses Elektroden-system überträgt elektrische Energie mittels in den Entla-dungsraum (14) eingebrachter Ladungsträger (24) in das Plasma (26). Zur sicheren Zündung des Plasmas (26) bei hohen Wieder-holfrequenzen wird vorgeschlagen, daß zur Bereitstellung der Ladungsträger (24) in den Entladungsraum (14) mittels einer von mindestens einer Strahlenquelle (28) erzeugte Strahlung (30) eingeleitet wird.

(Fig.1)

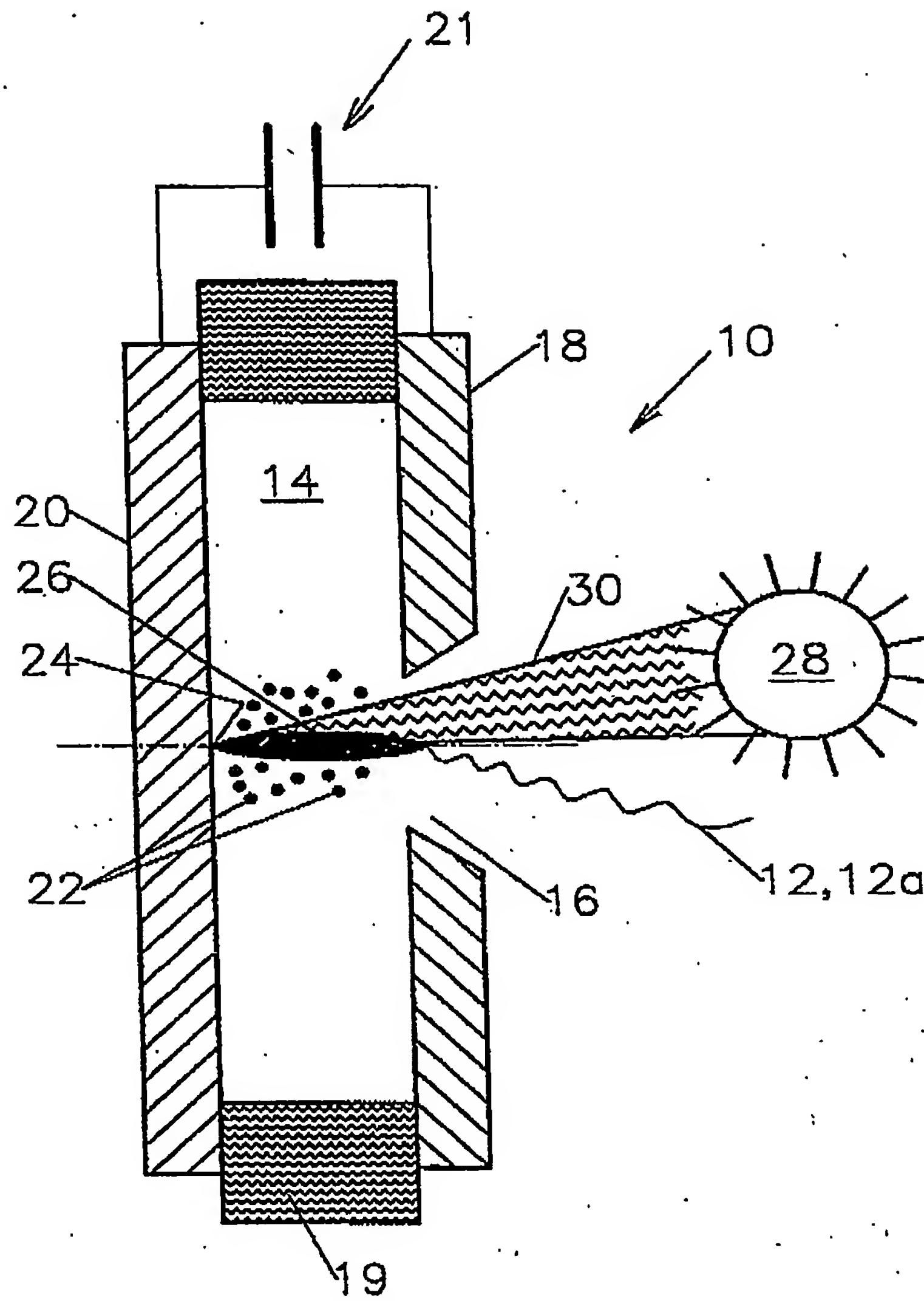


Fig.1

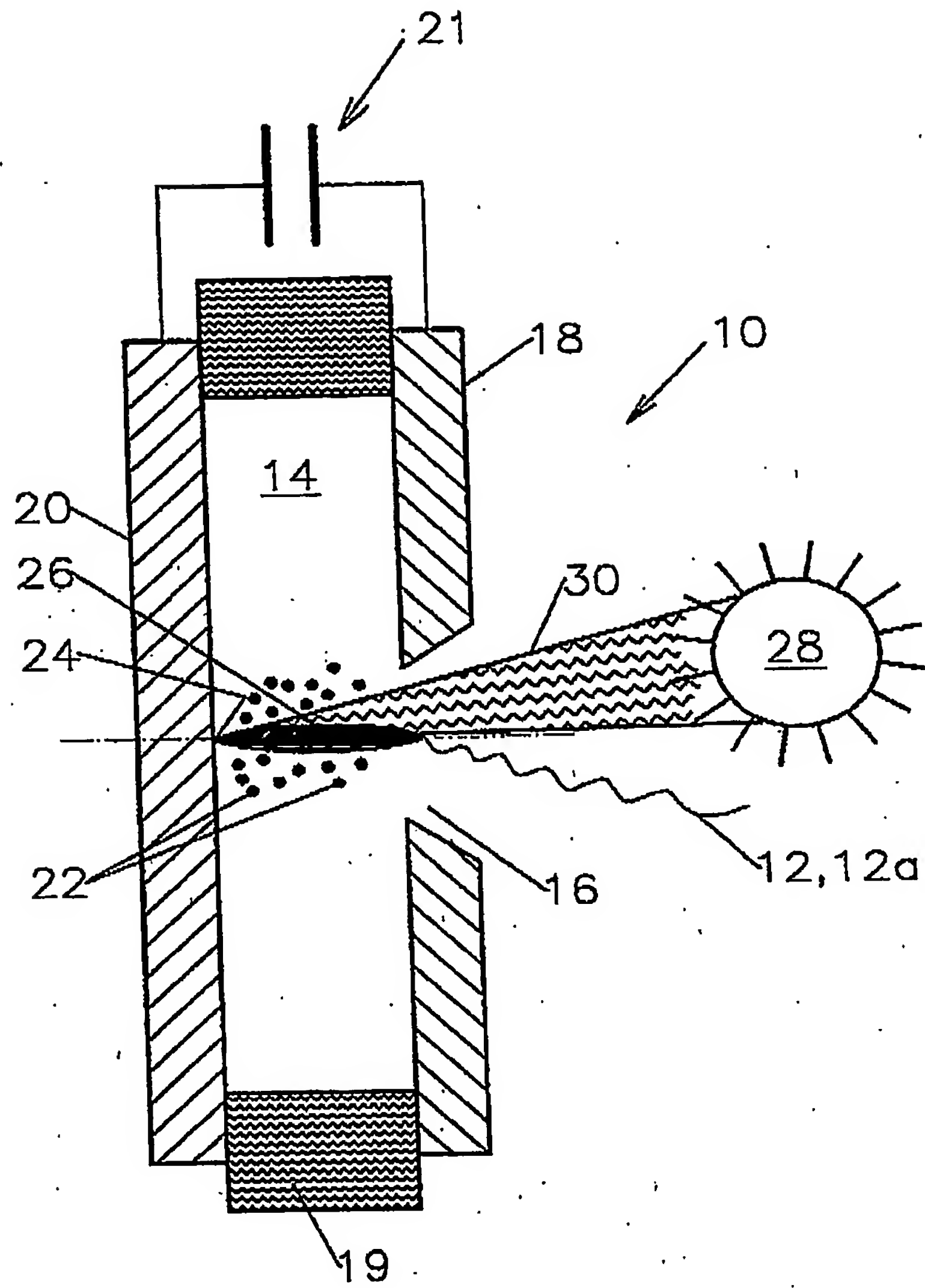


Fig.1

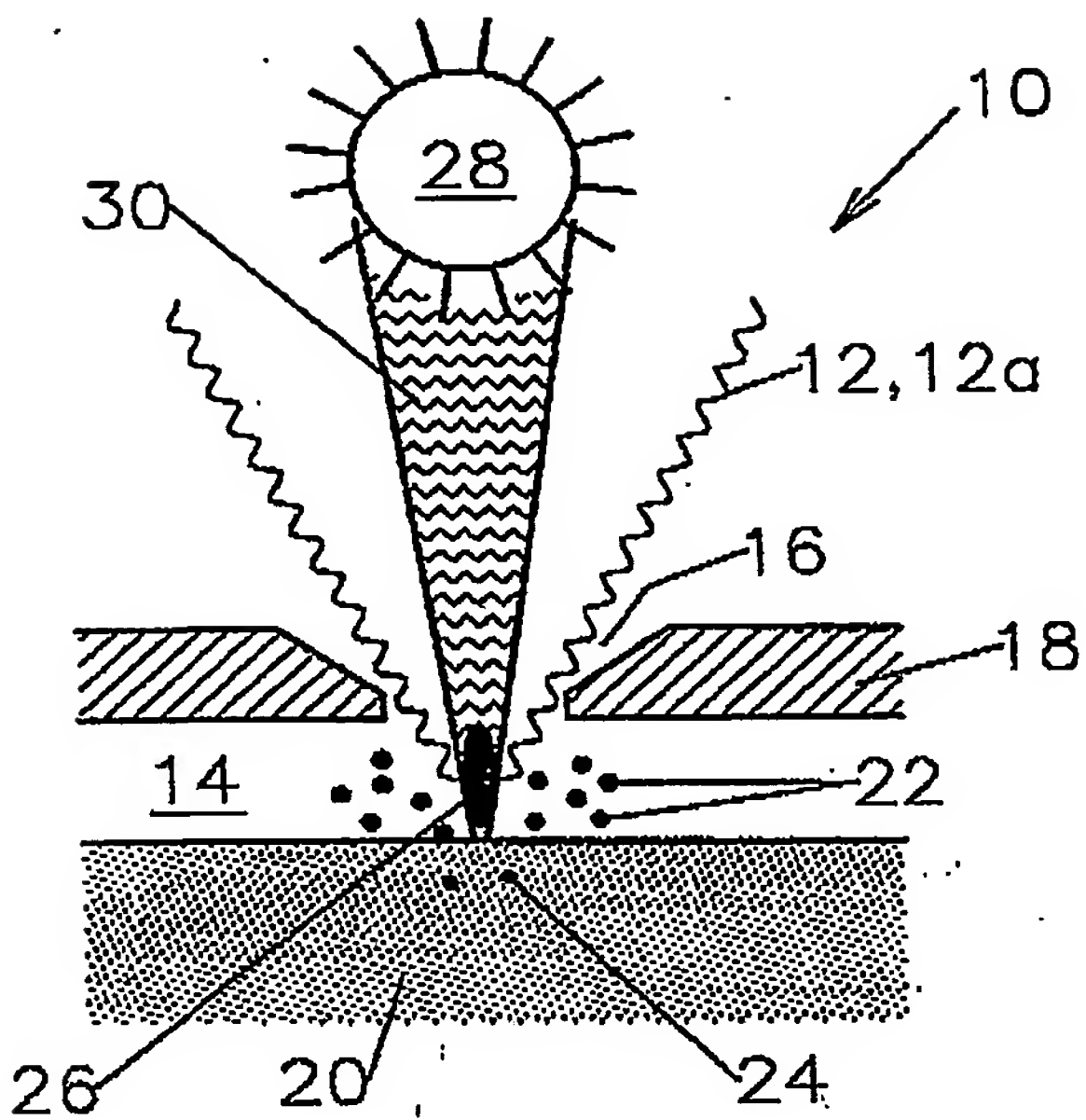


Fig. 2a

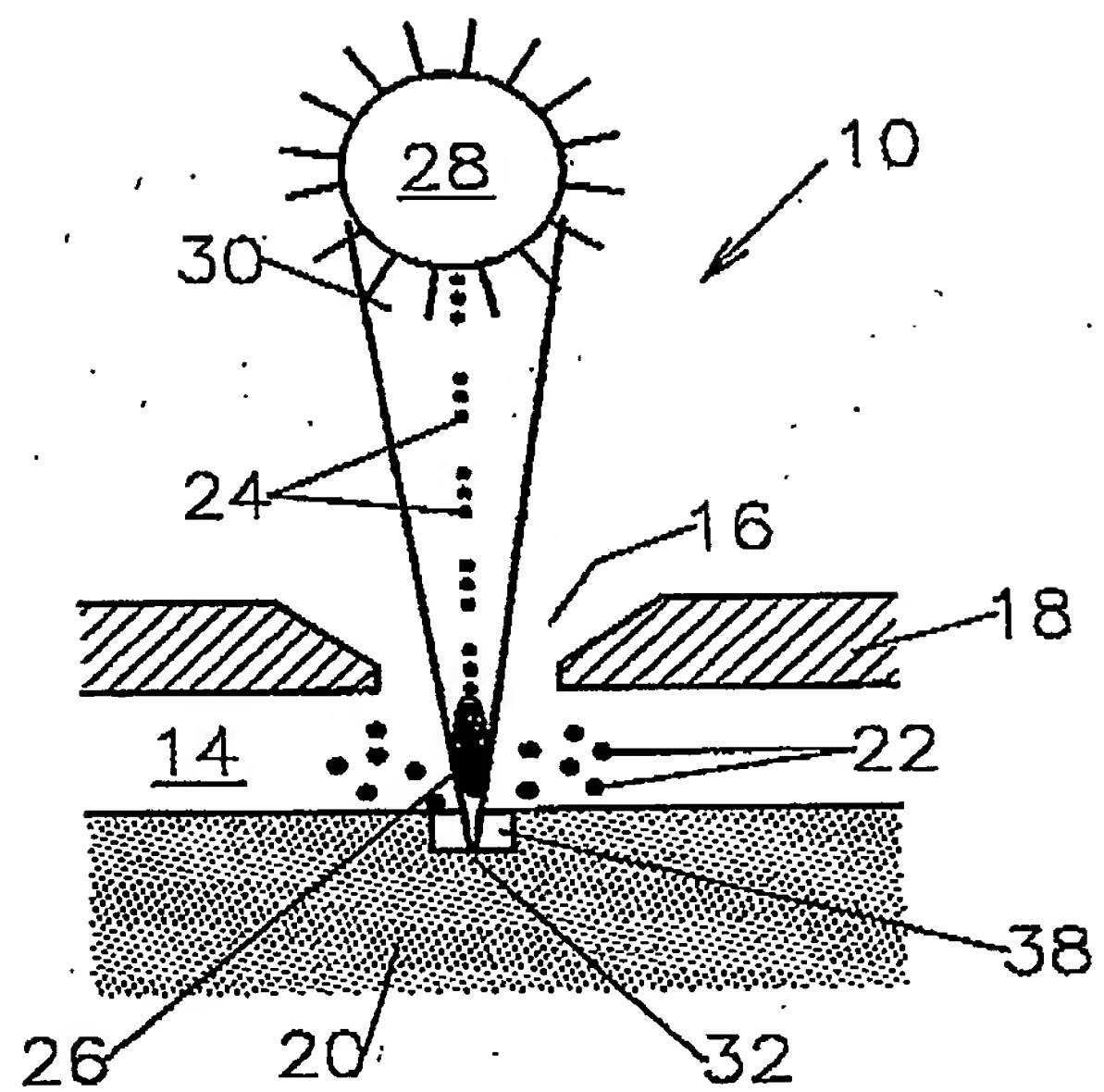


Fig. 2b

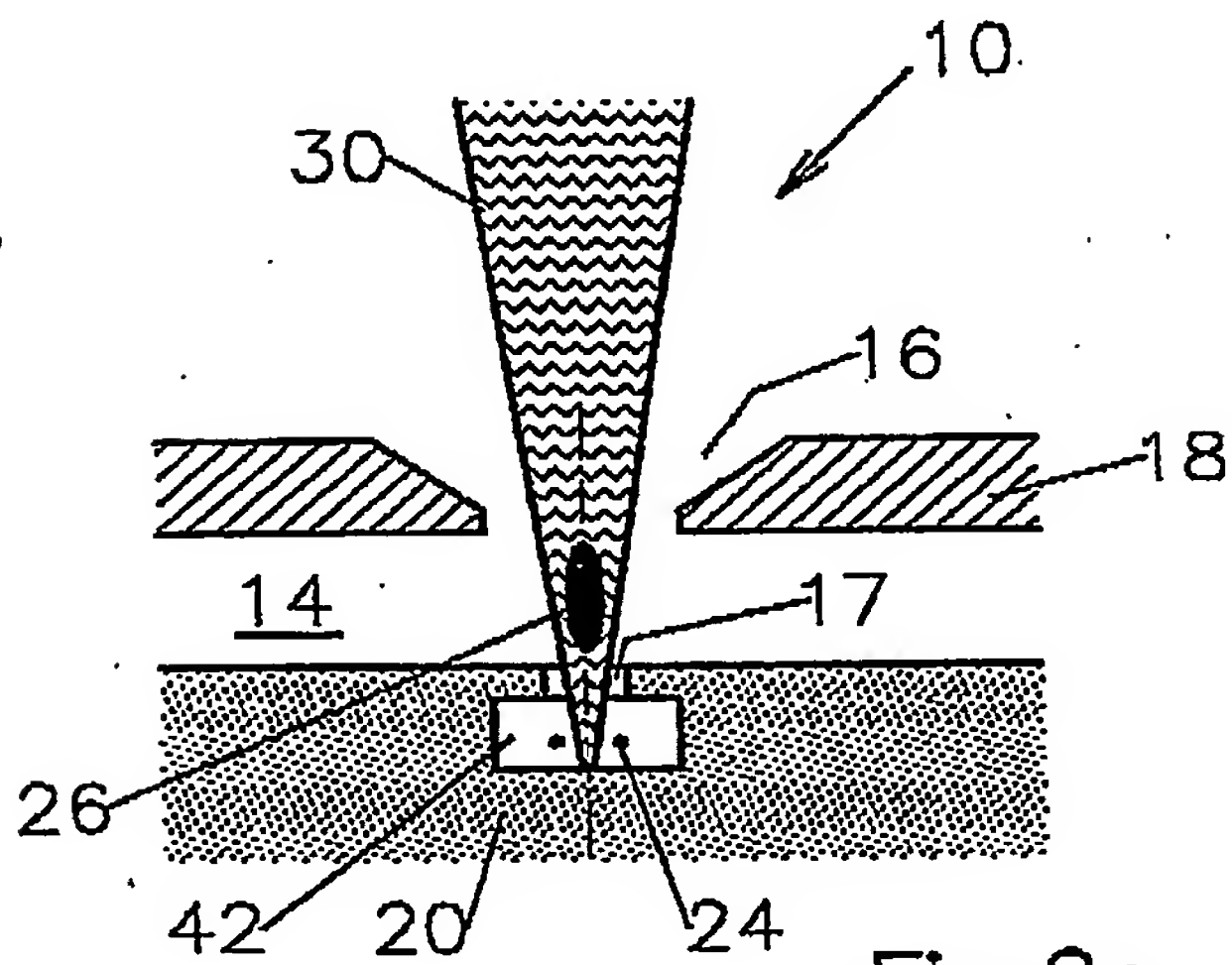


Fig. 2c

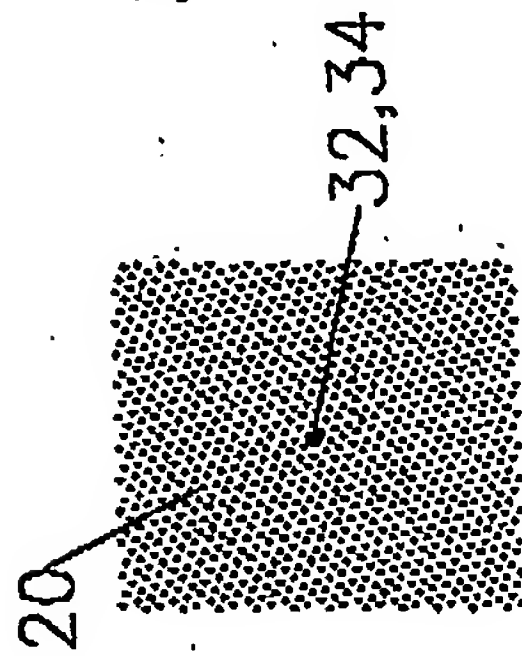
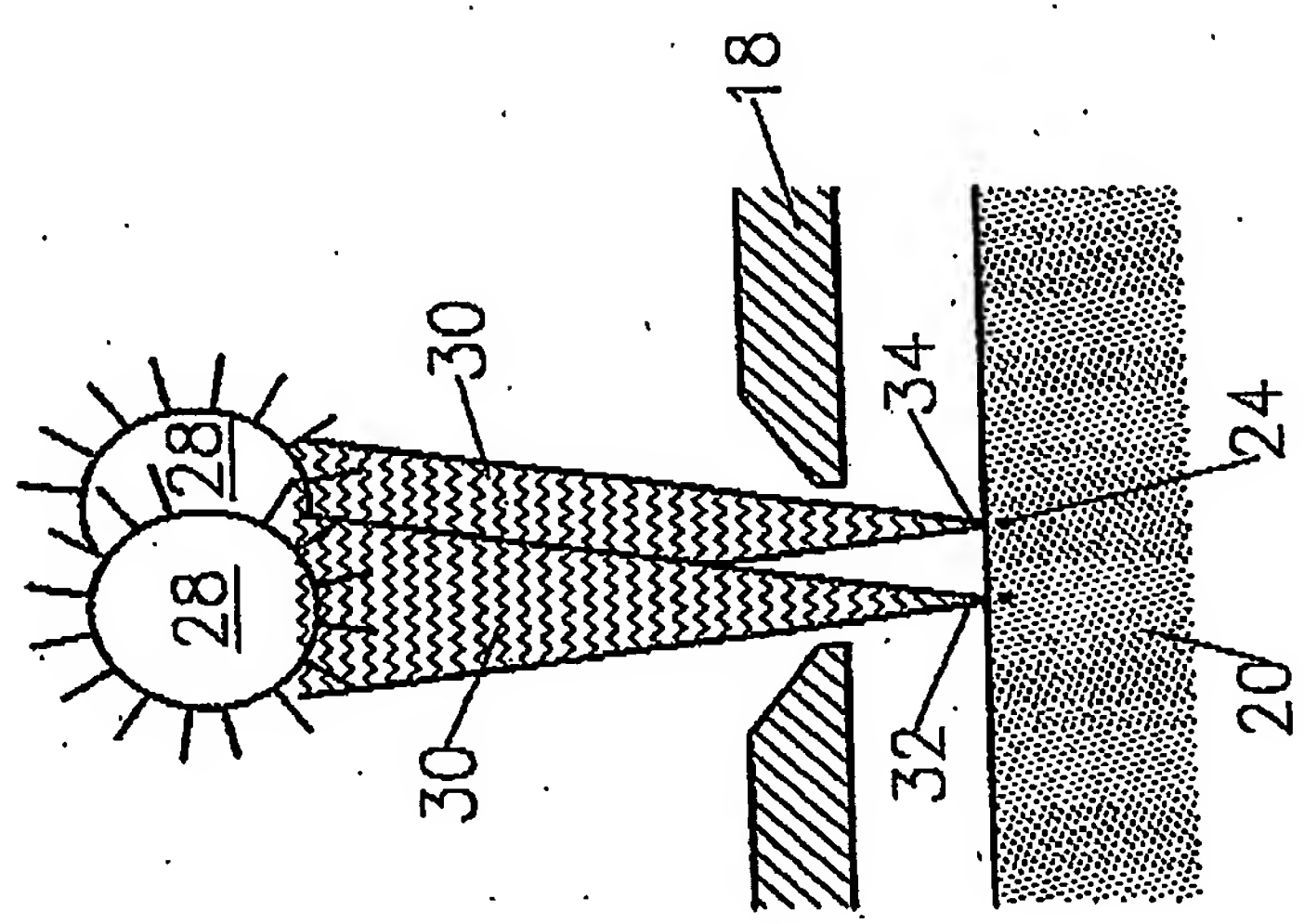


Fig. 3a

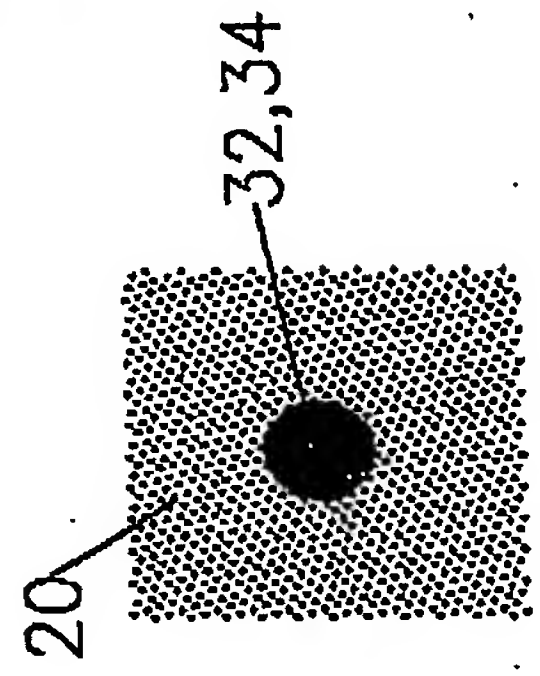


Fig. 3b

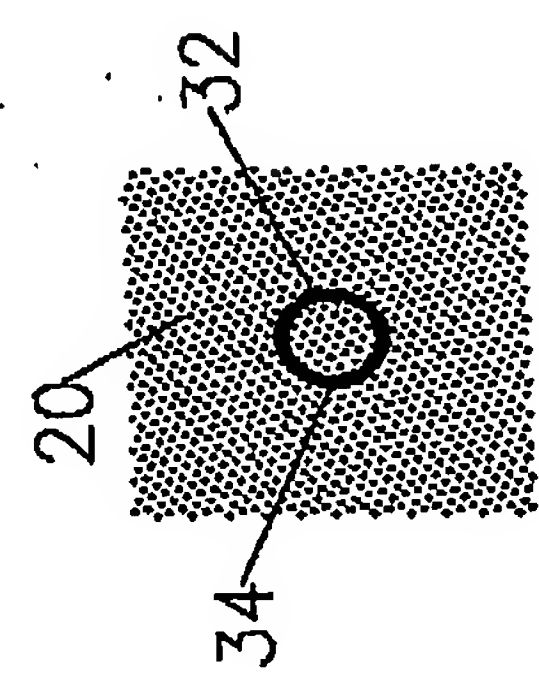


Fig. 3c

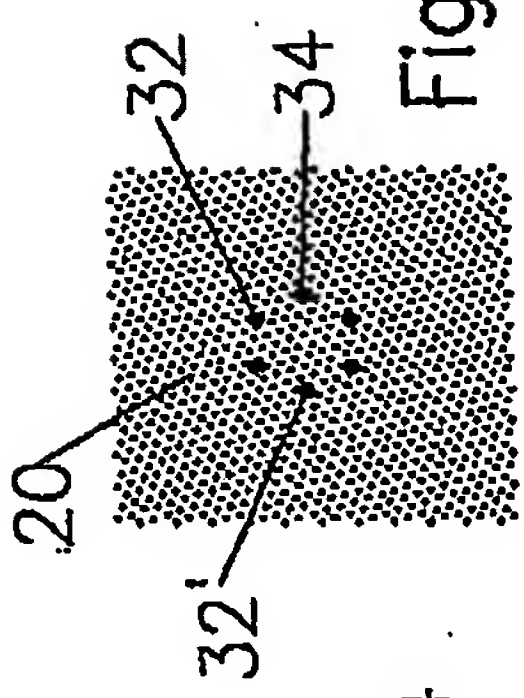


Fig. 3d

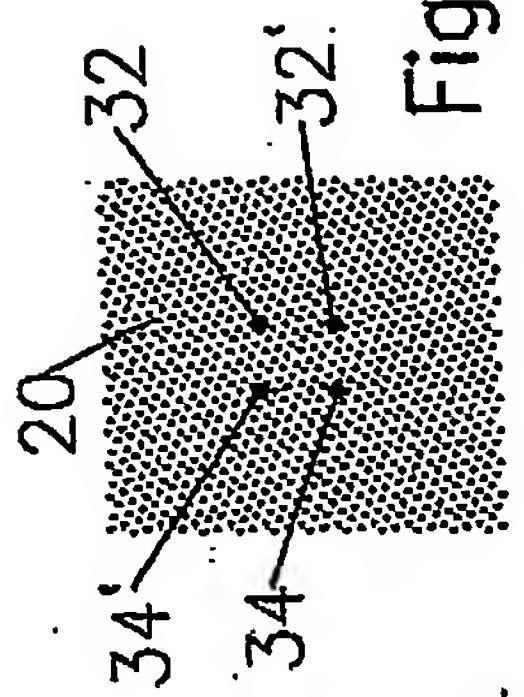


Fig. 3e

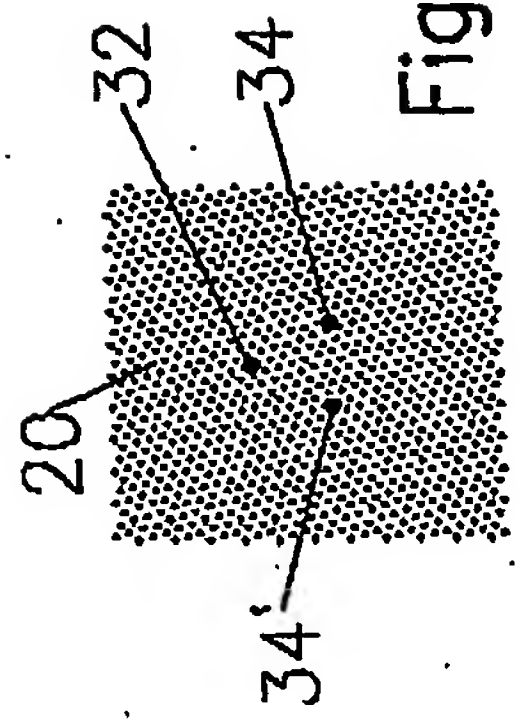


Fig. 3f

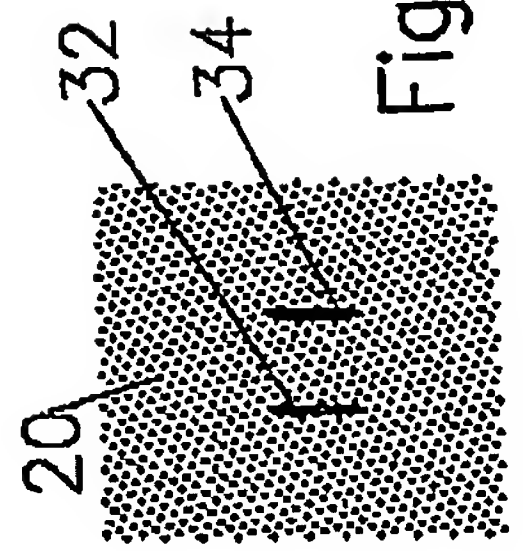
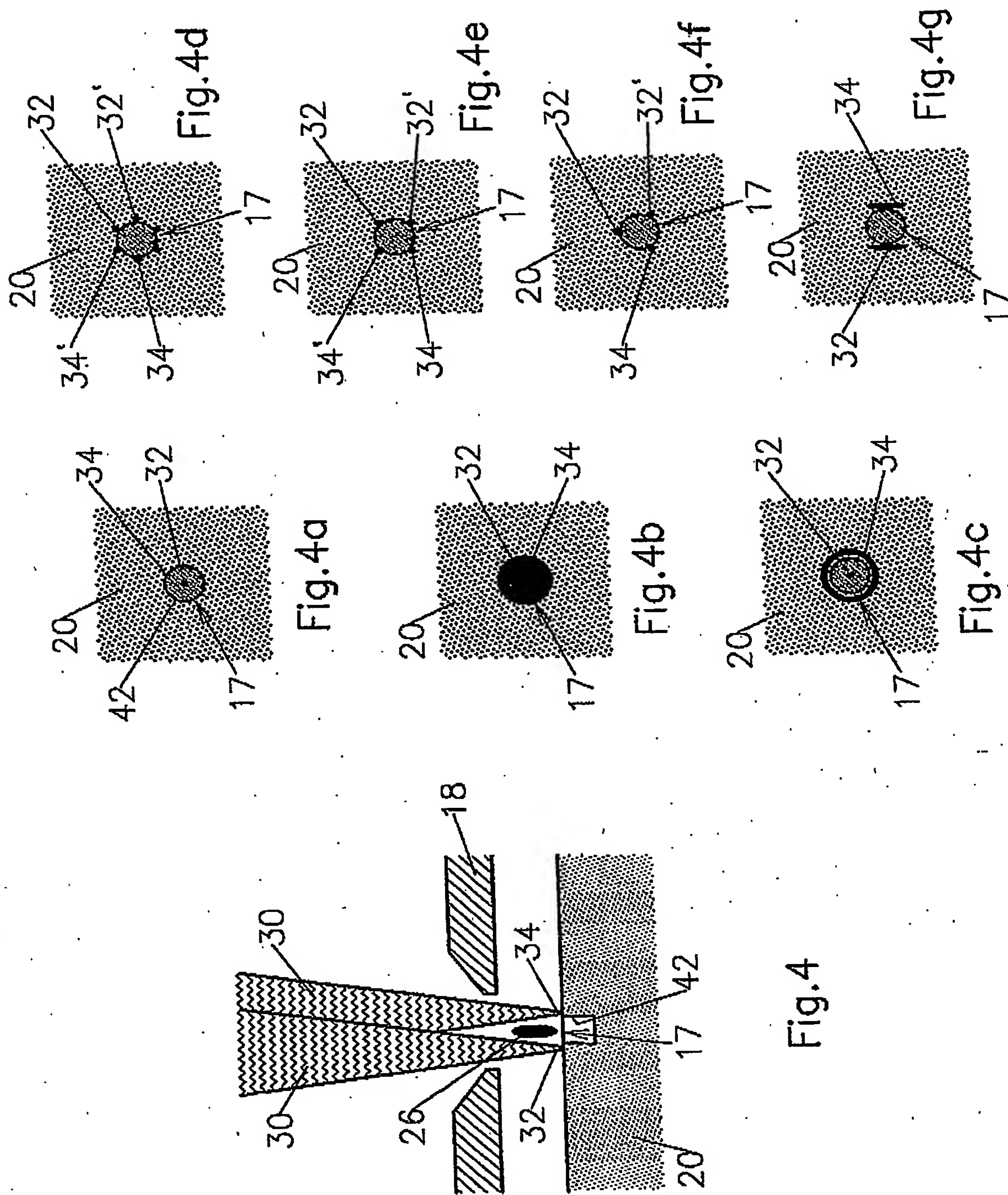


Fig. 3g



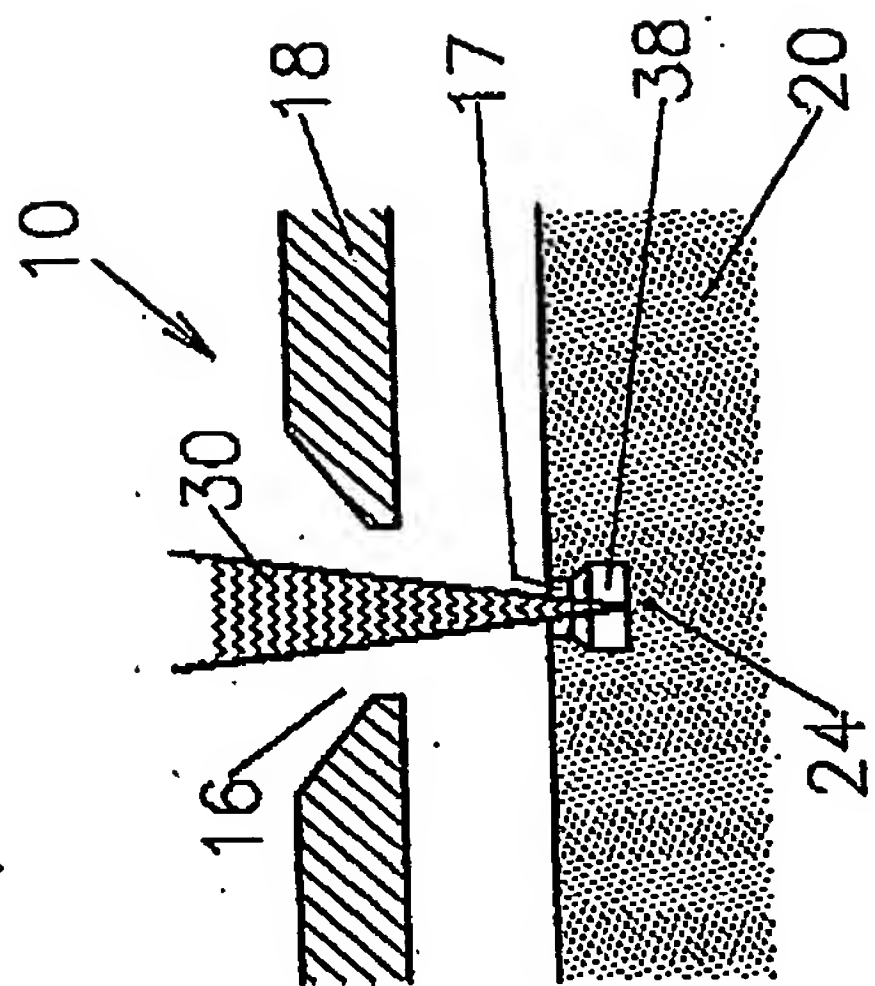


Fig. 5b

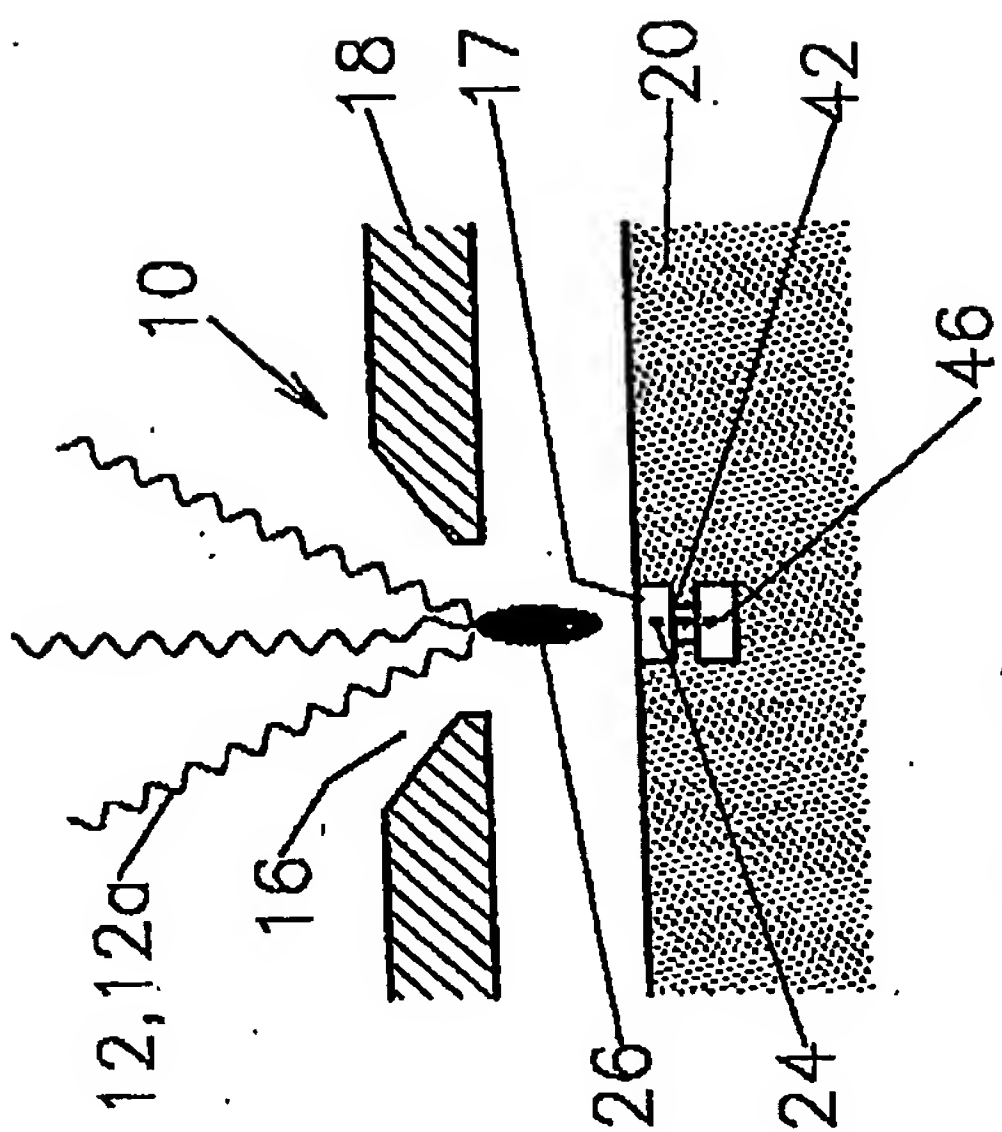


Fig. 5d

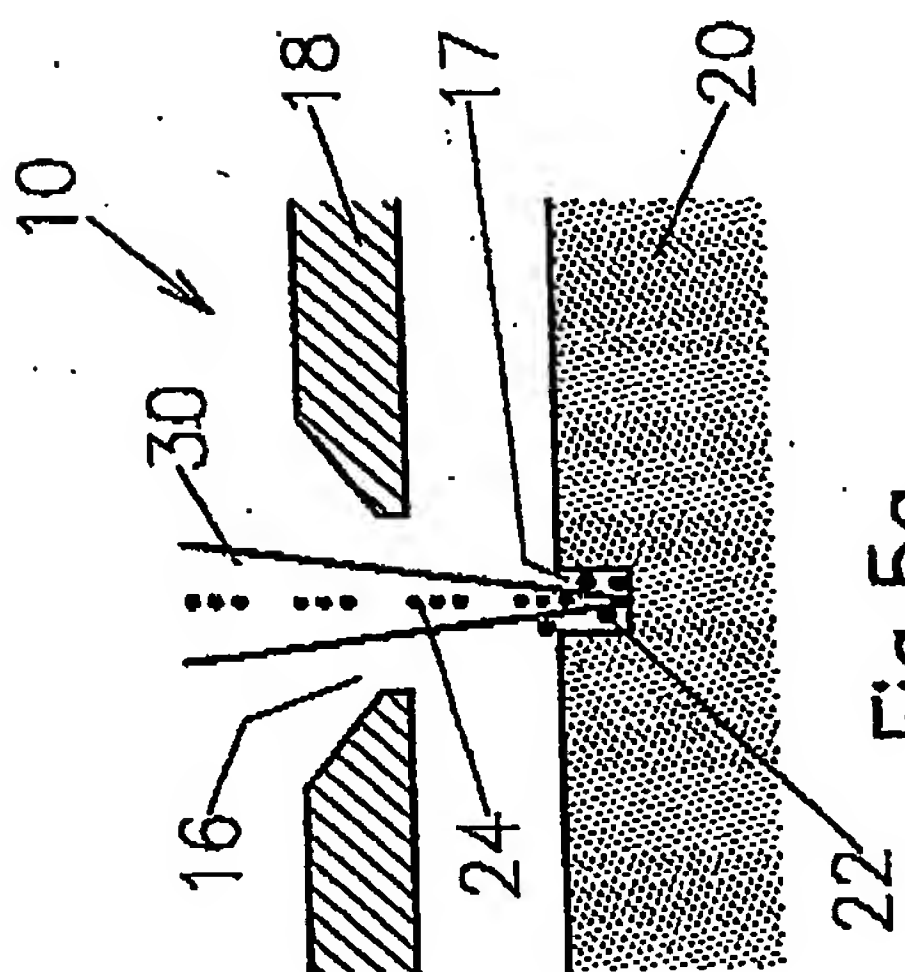


Fig. 5a

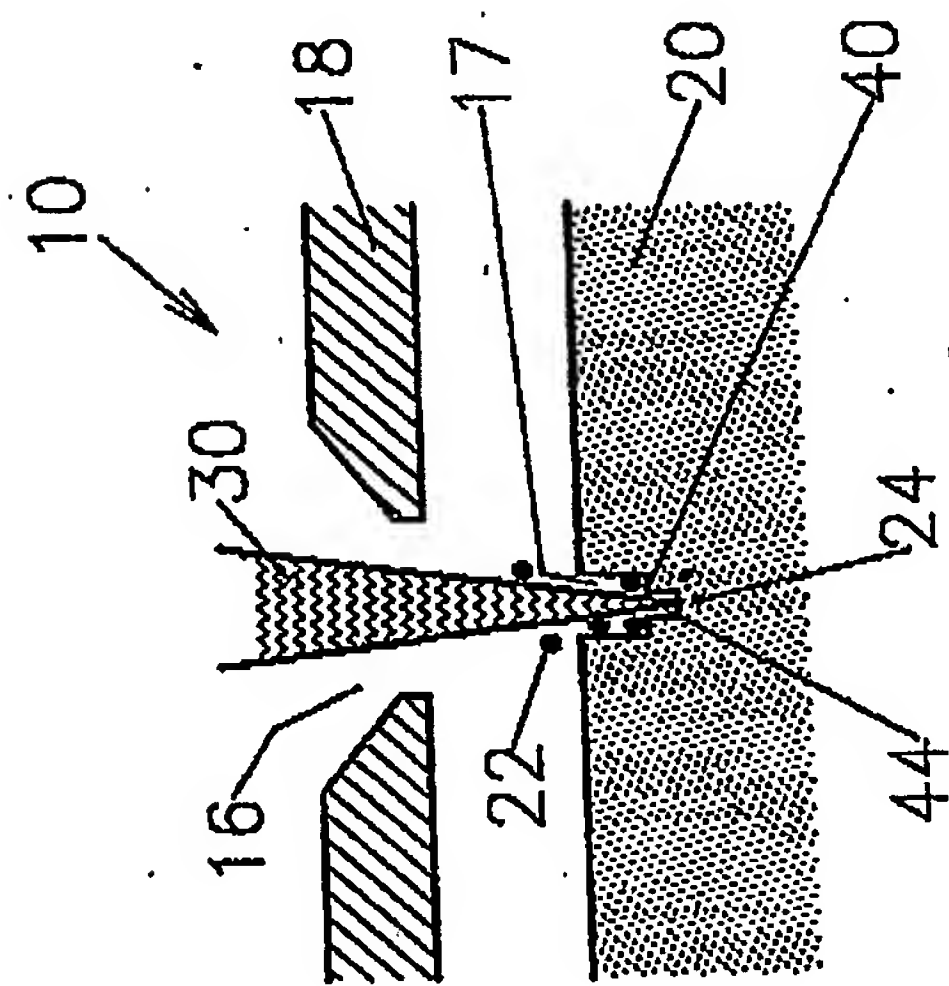


Fig. 5c

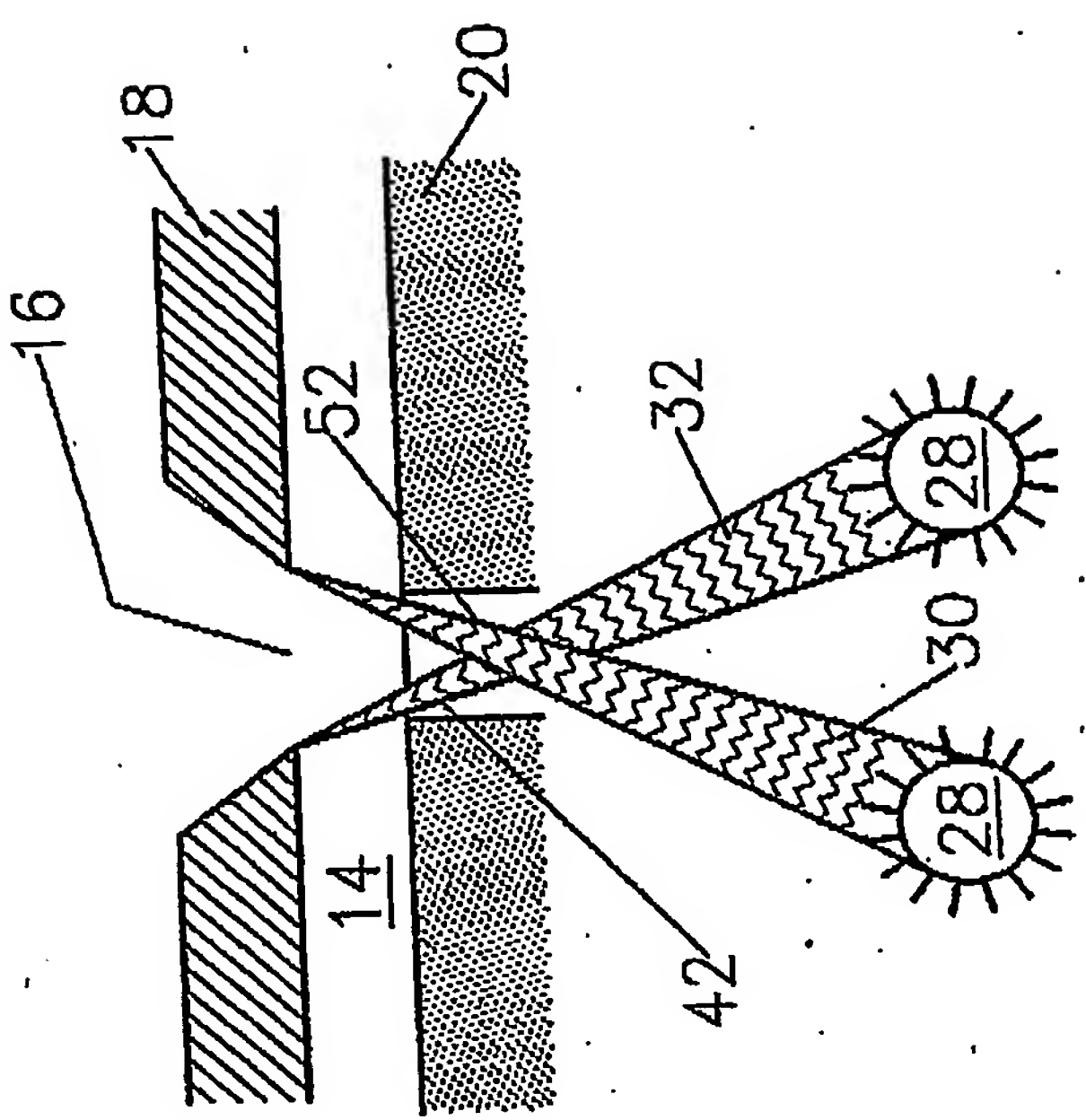


Fig. 6b

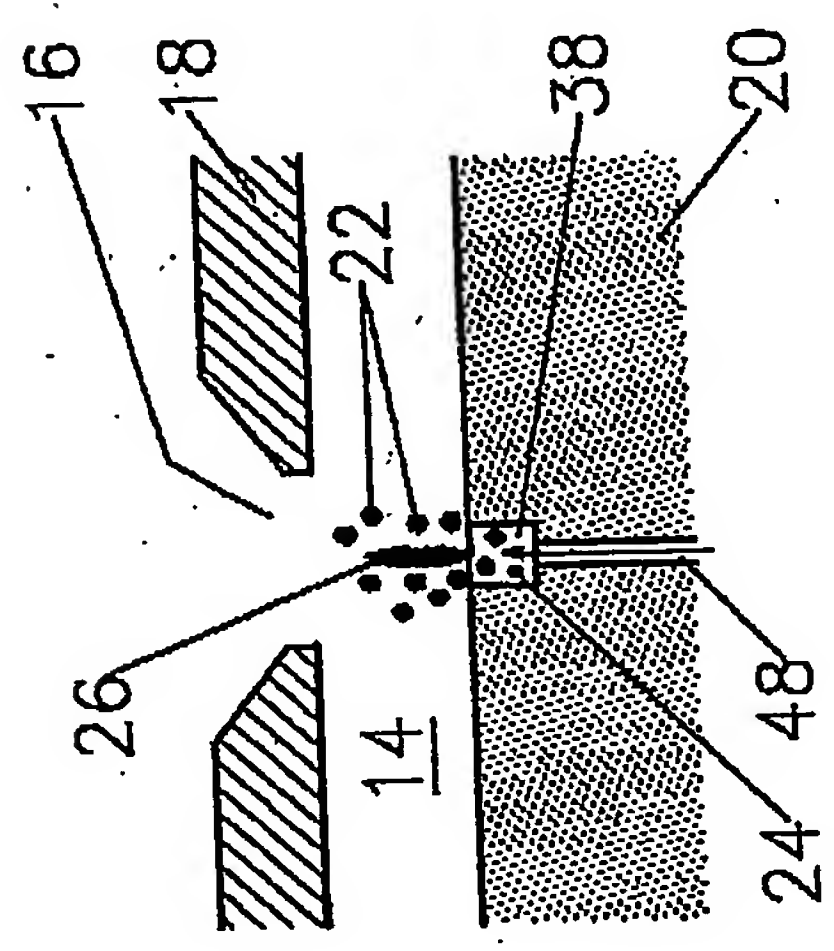


Fig. 6a

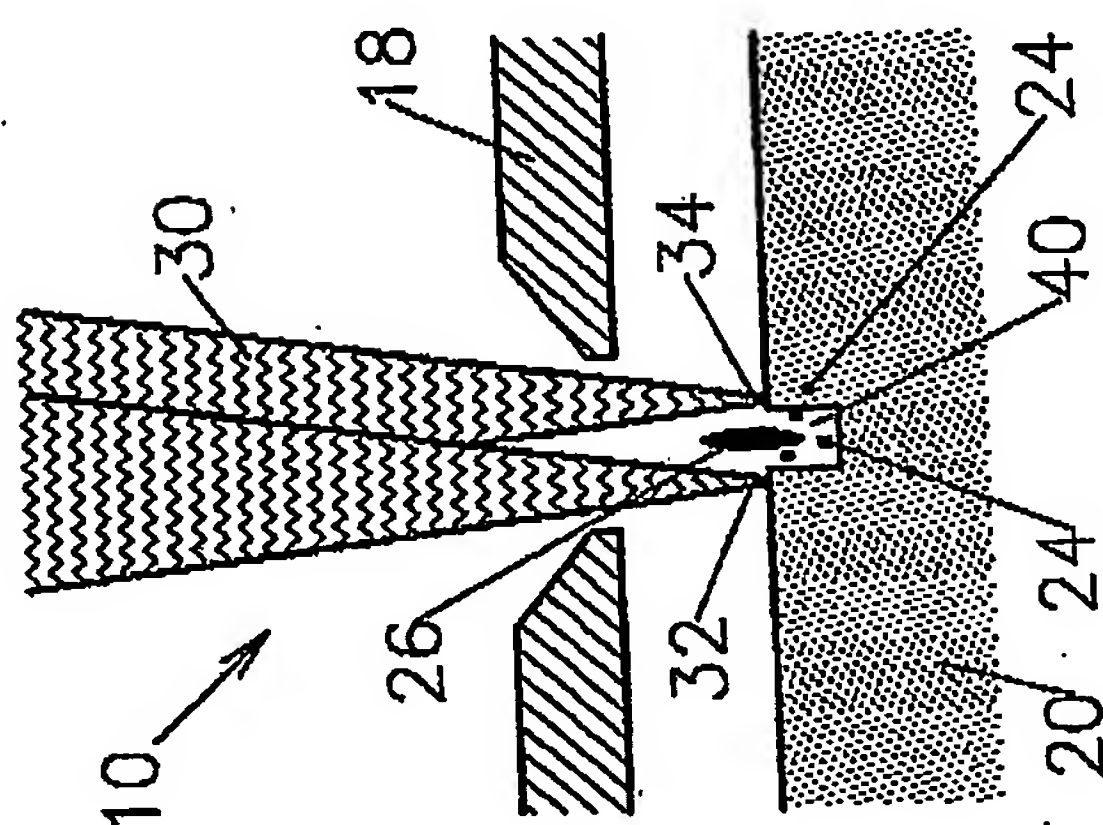


Fig. 2

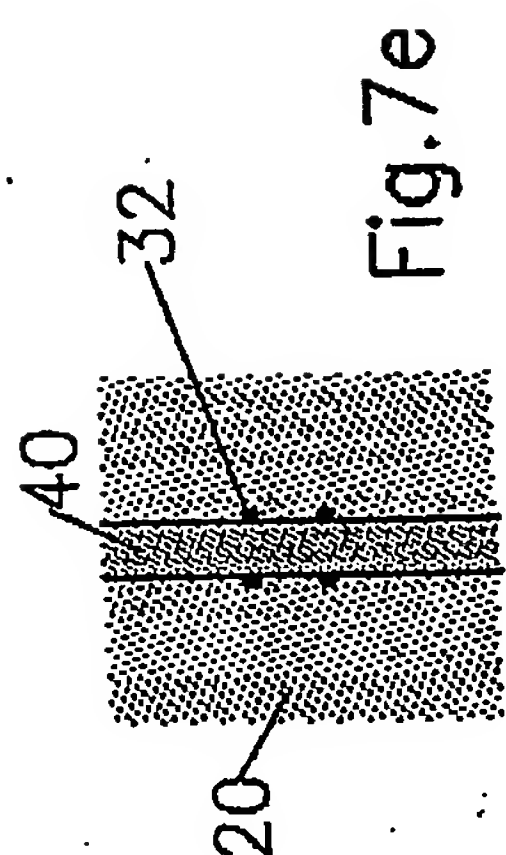


Fig. 7e

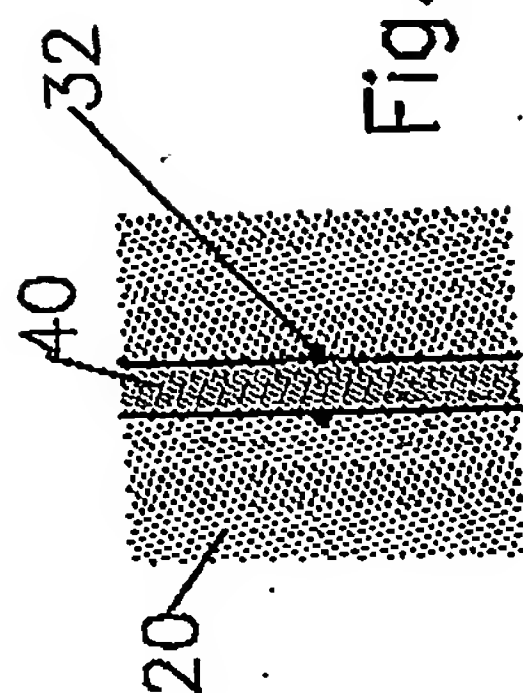


Fig. 7f

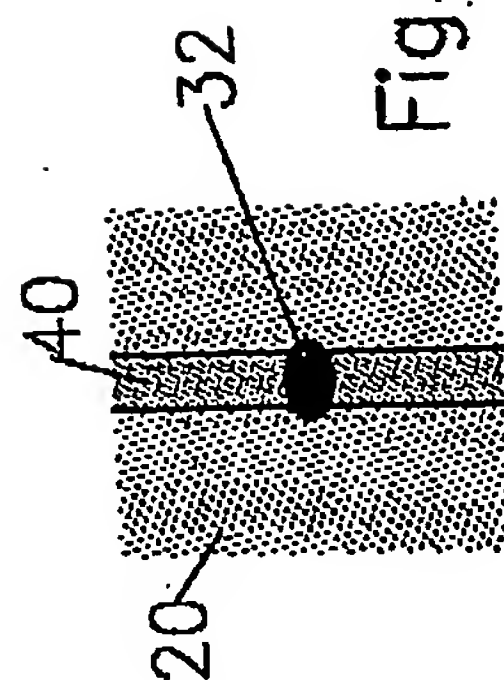


Fig. 7g

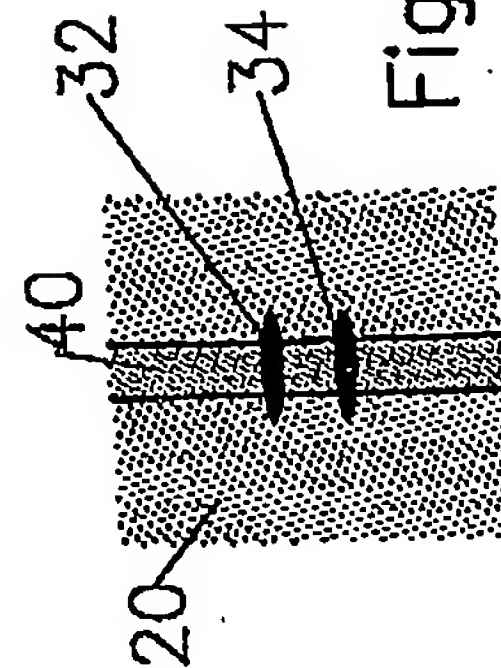


Fig. 7h

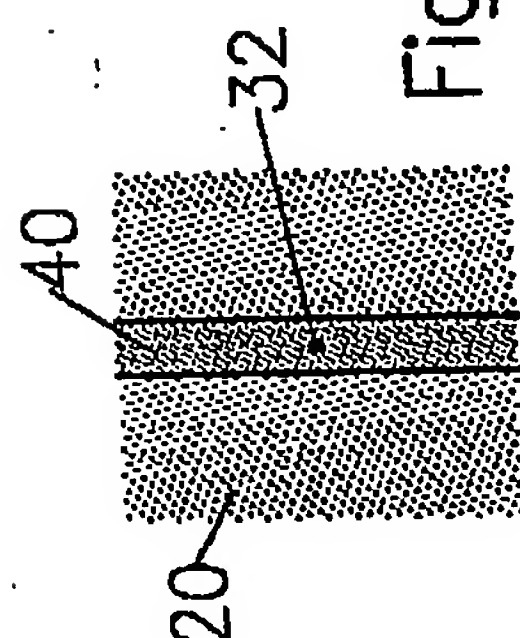


Fig. 7a

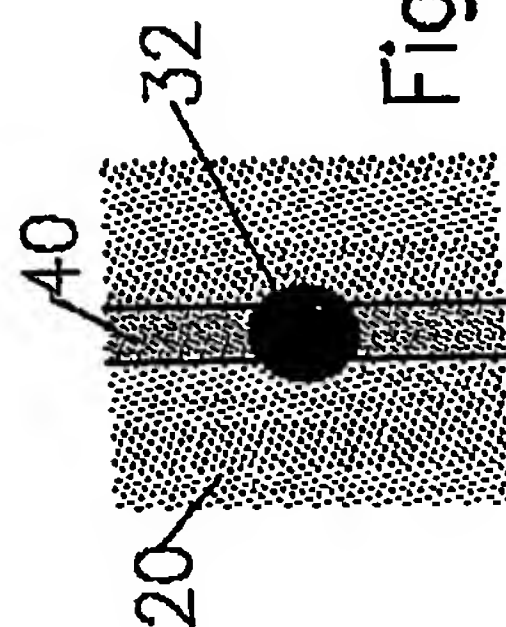


Fig. 7b

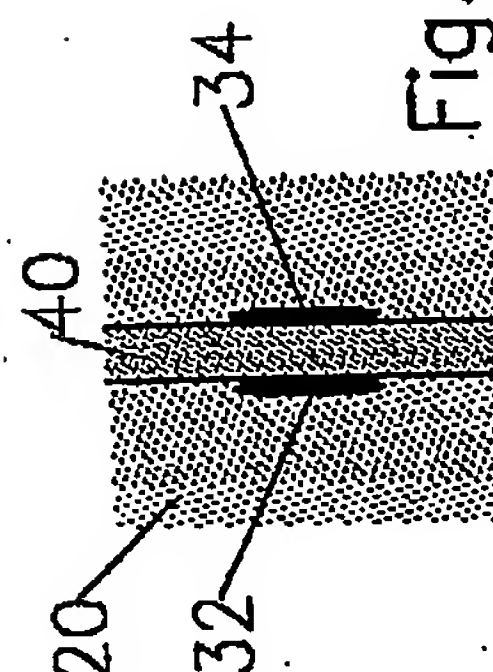


Fig. 7c

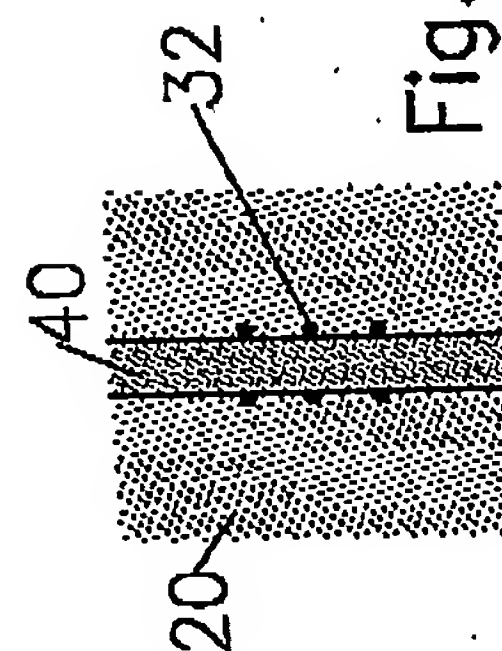
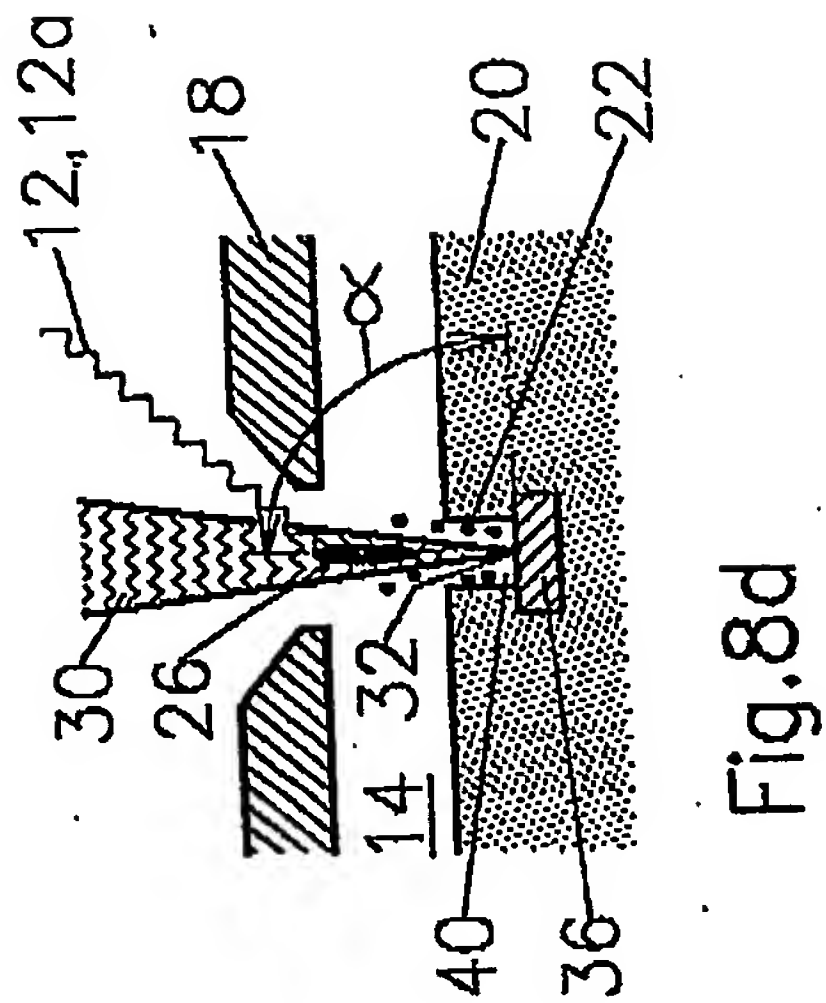
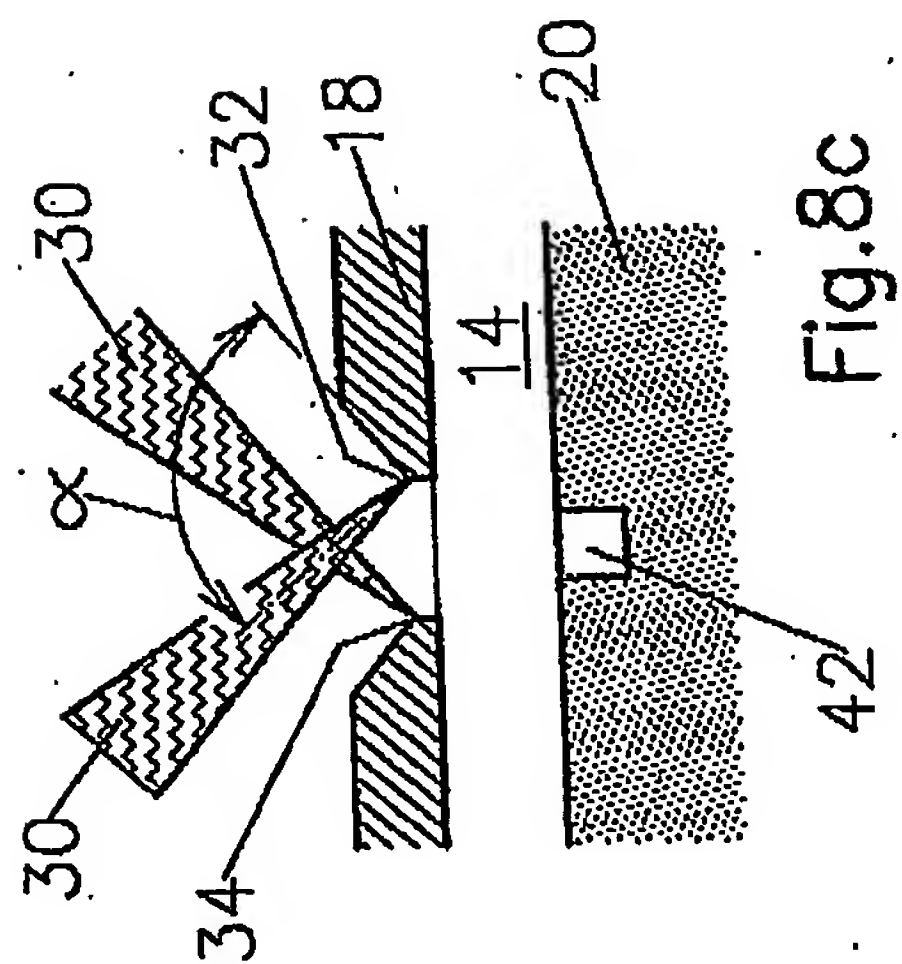
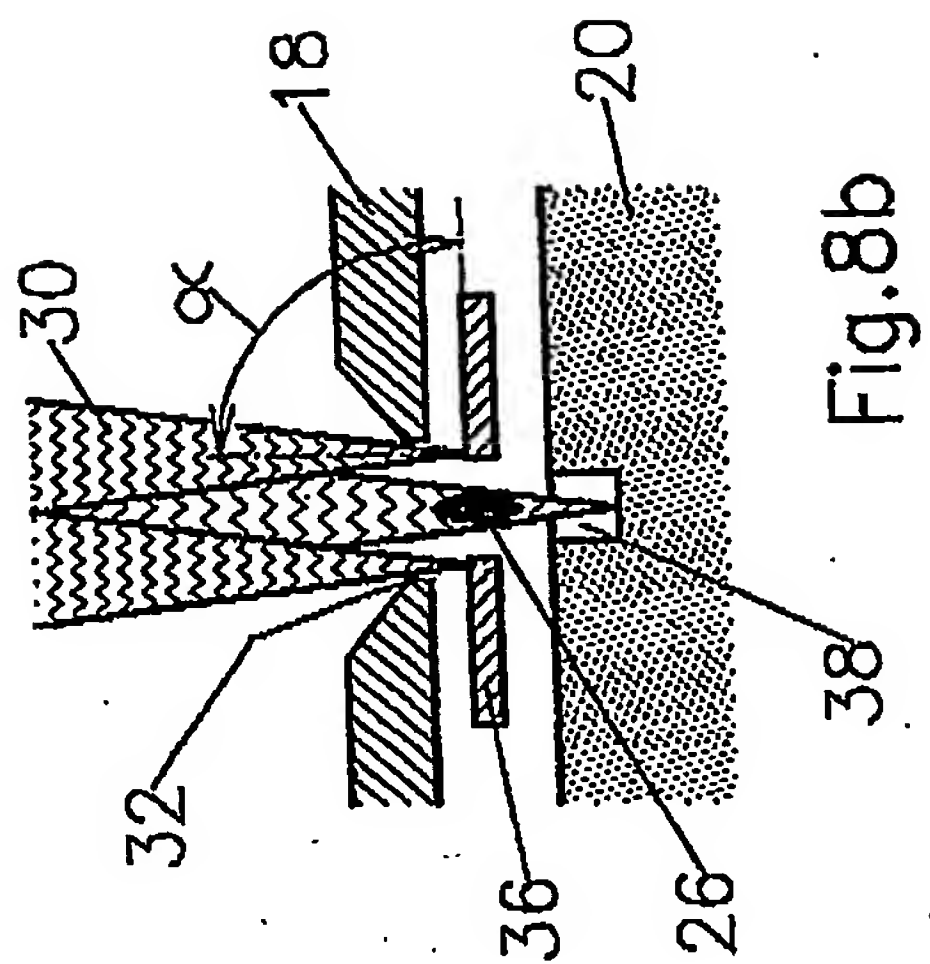
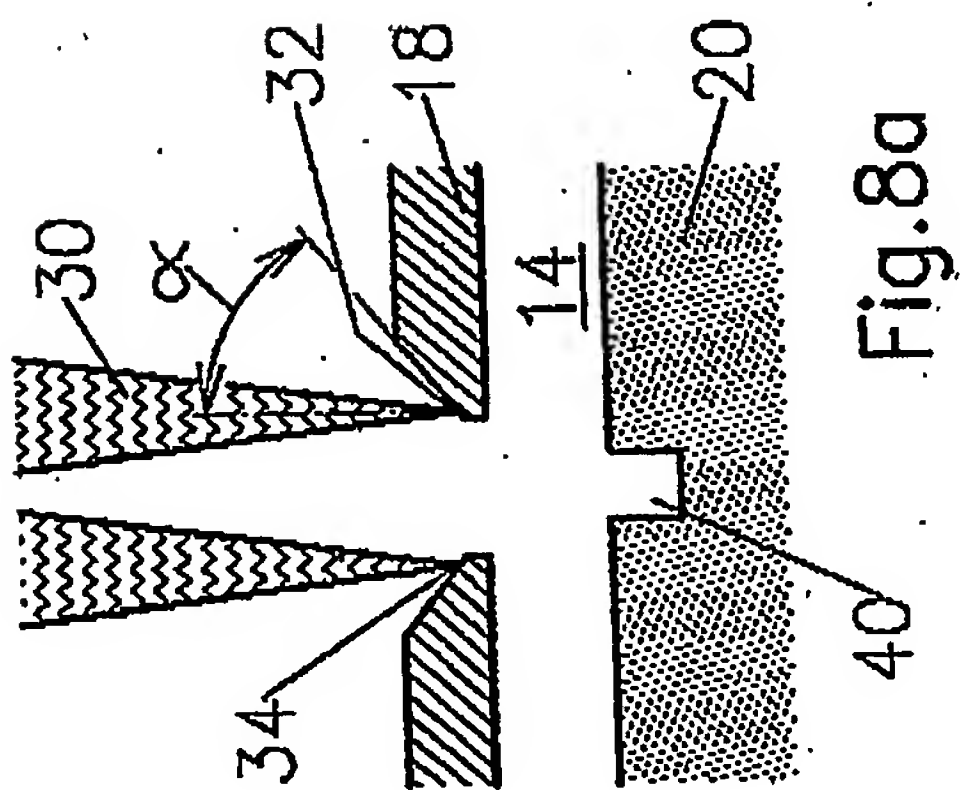
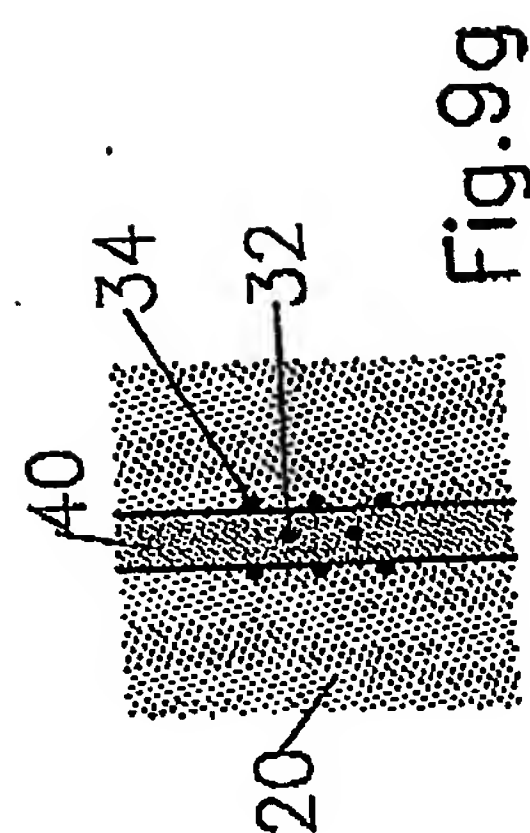
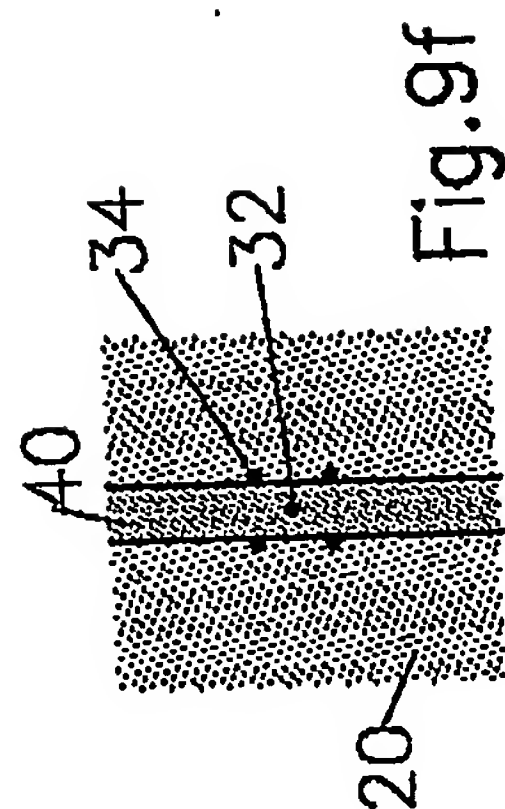
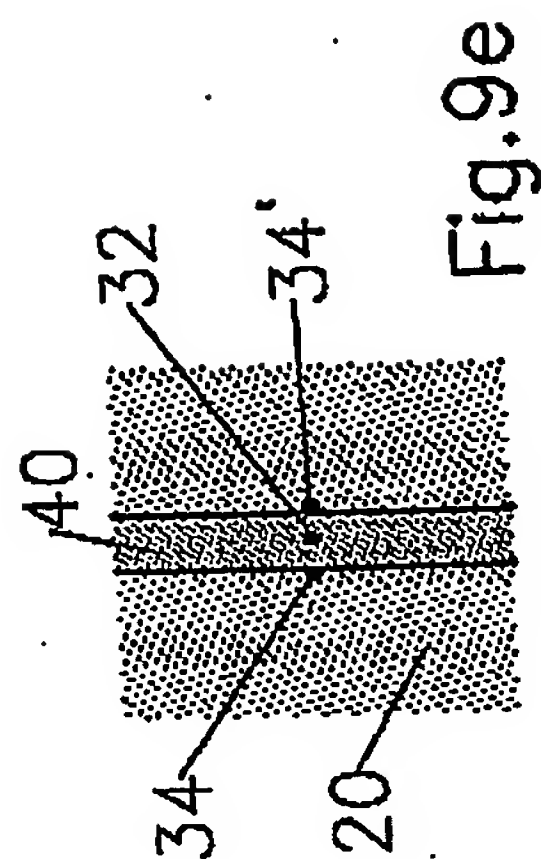
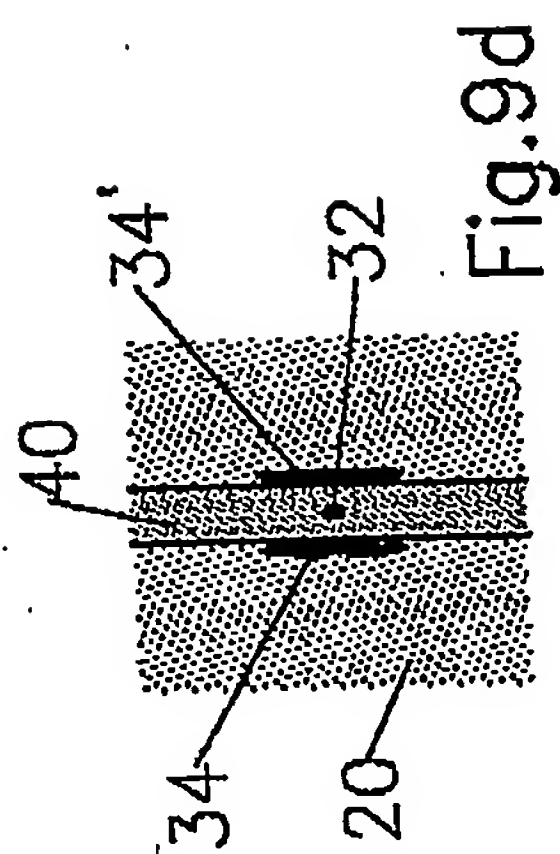
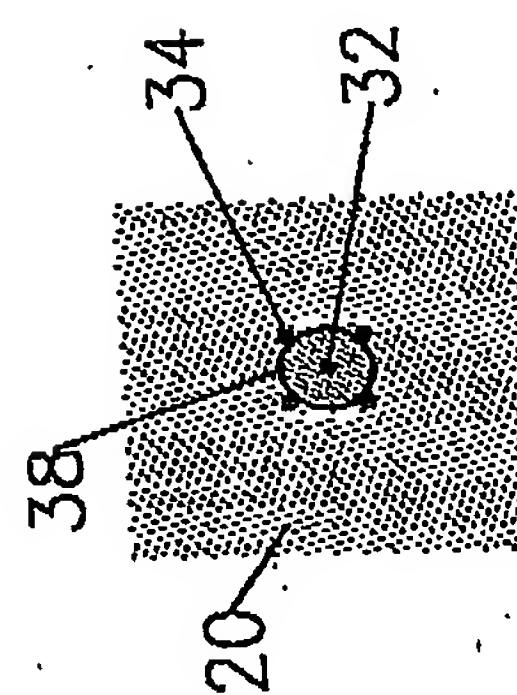
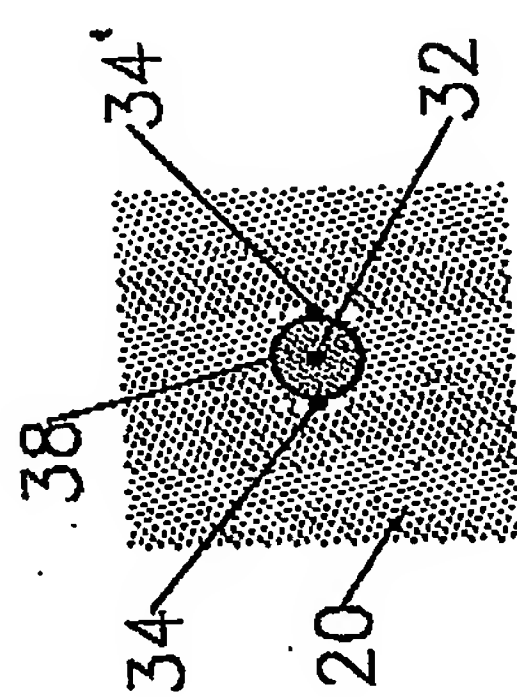
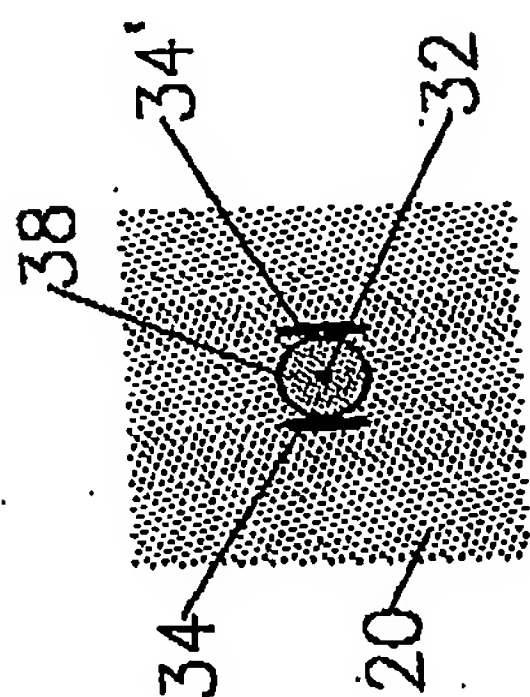
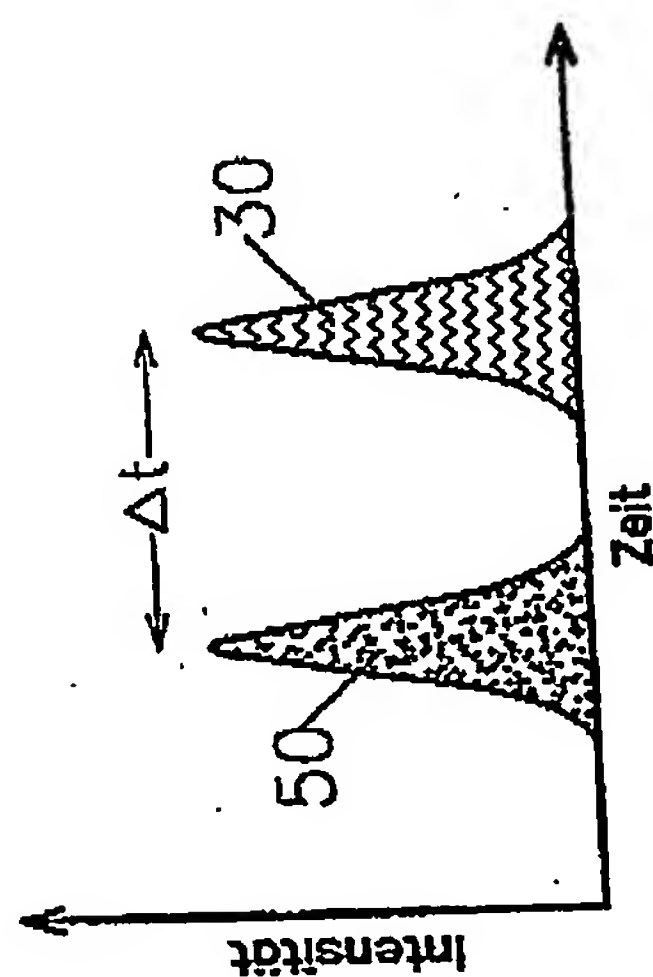
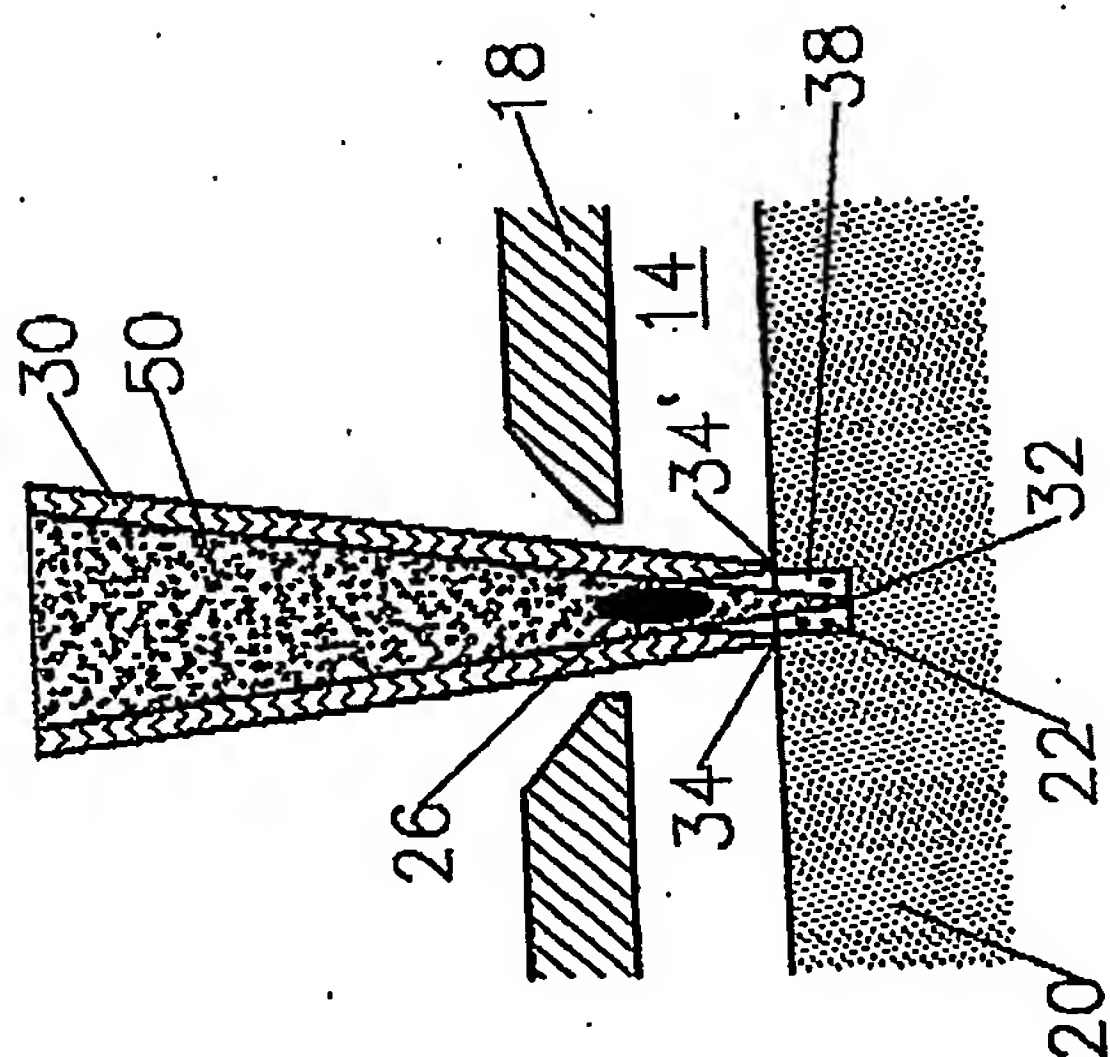


Fig. 7d





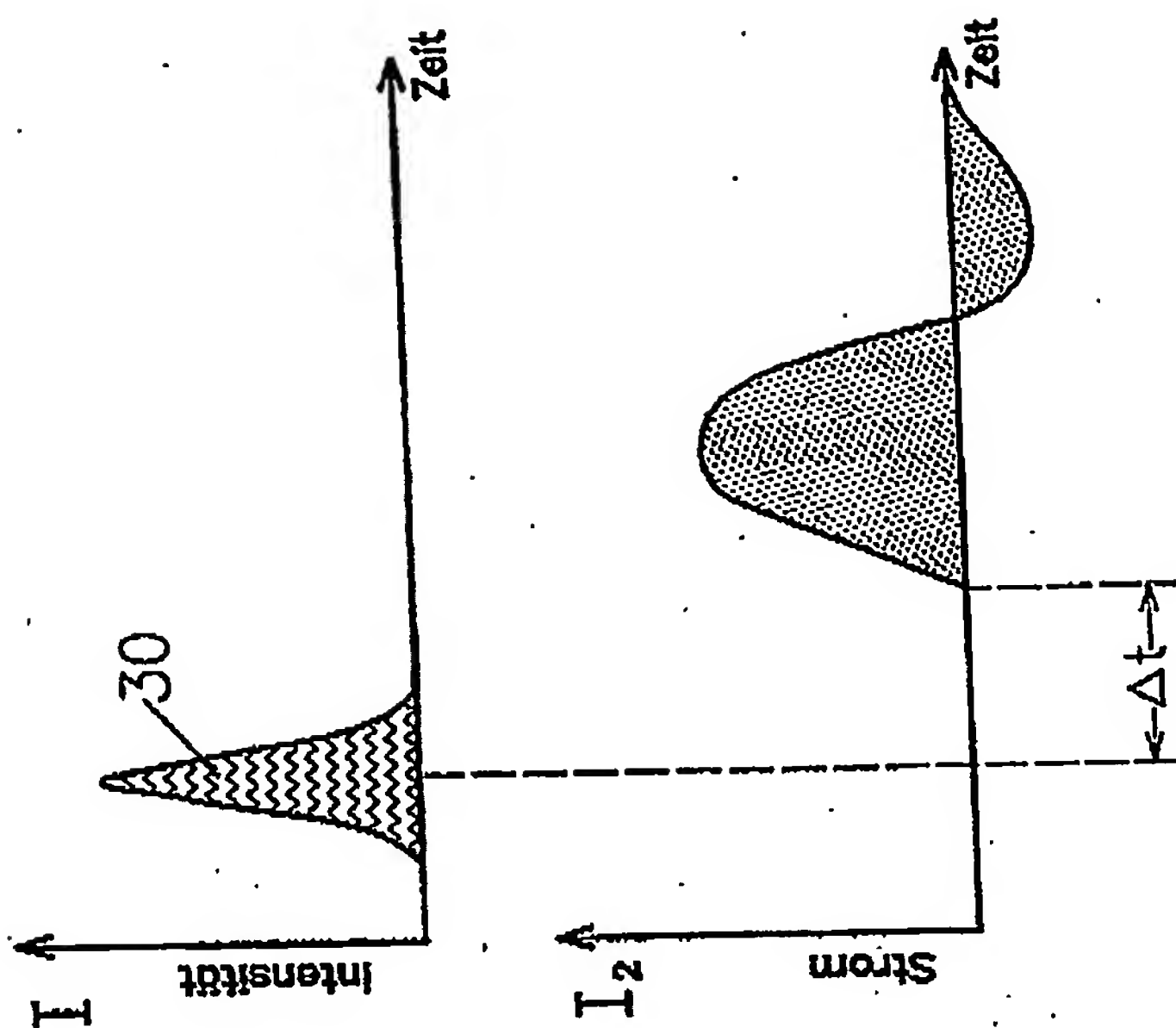


Fig.11a

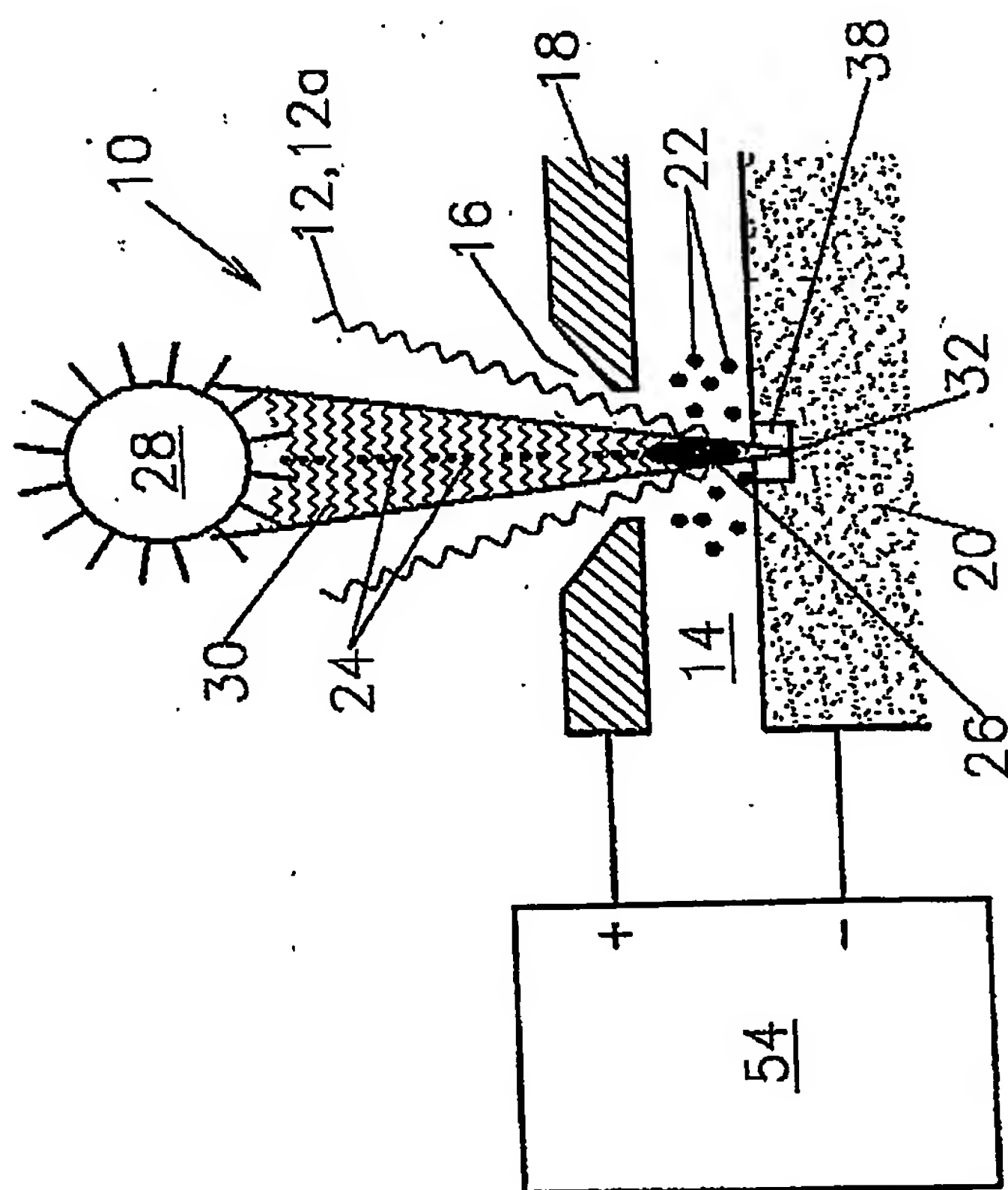


Fig.11

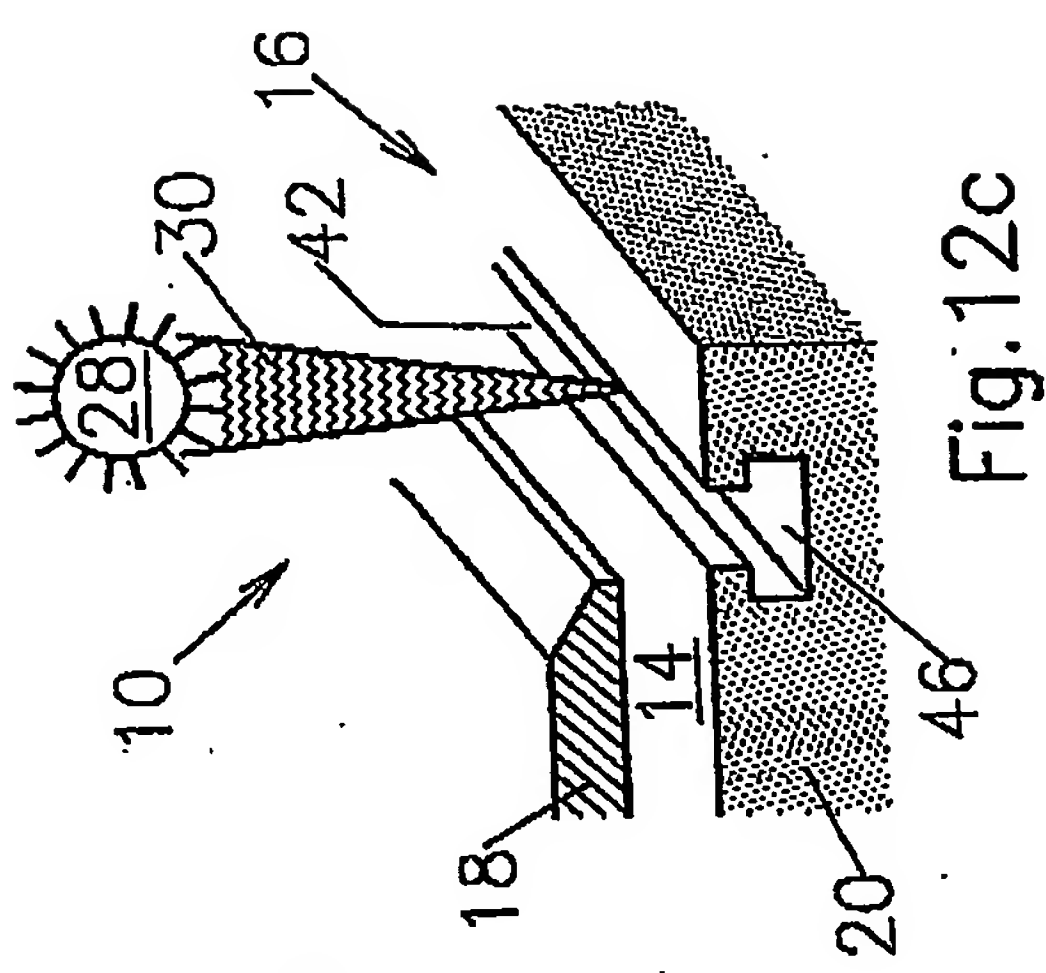


Fig. 12c

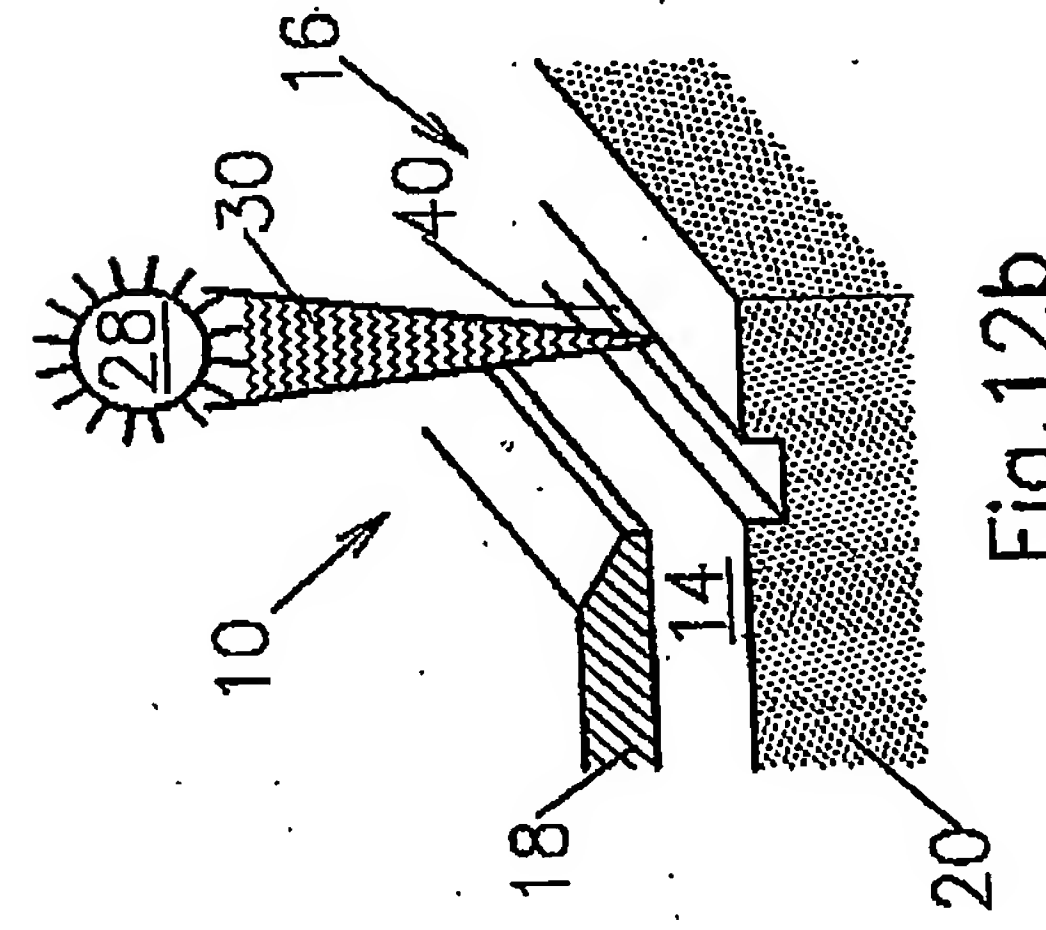


Fig. 12b

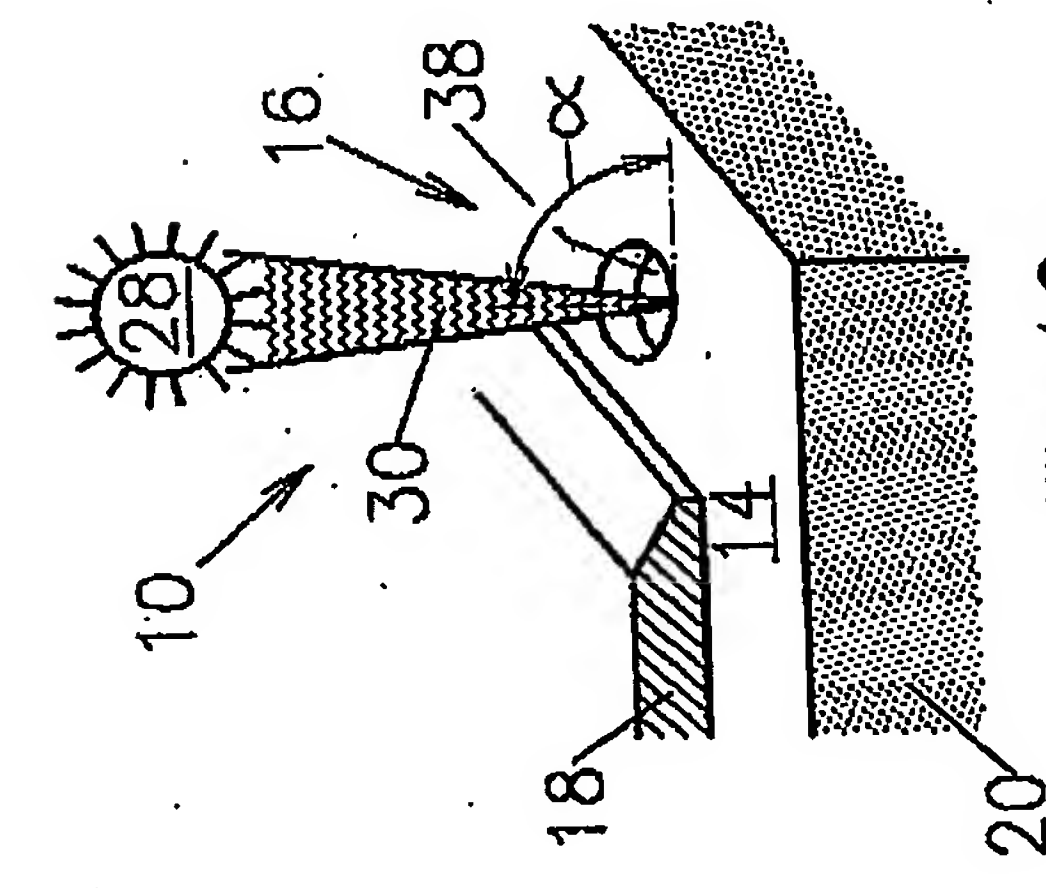


Fig. 12a

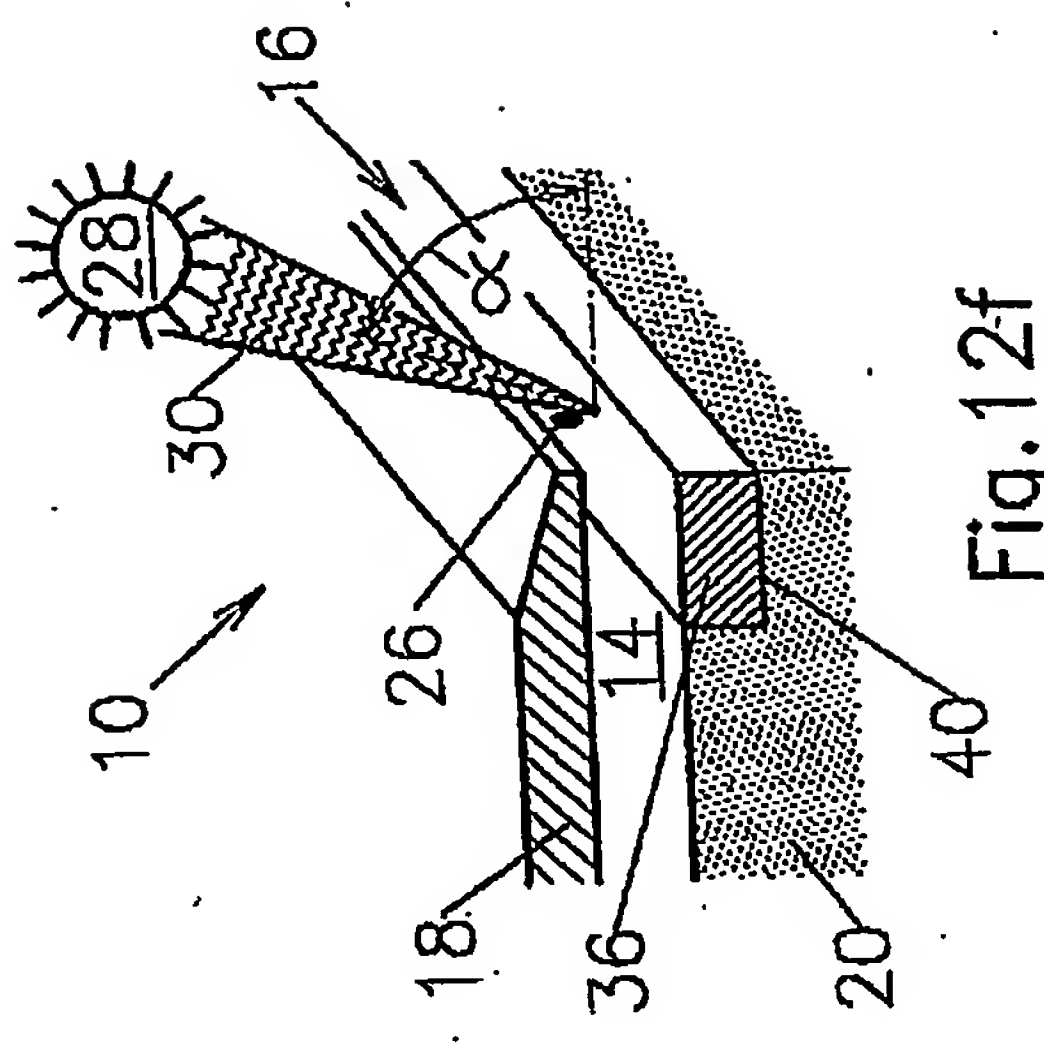


Fig. 12f

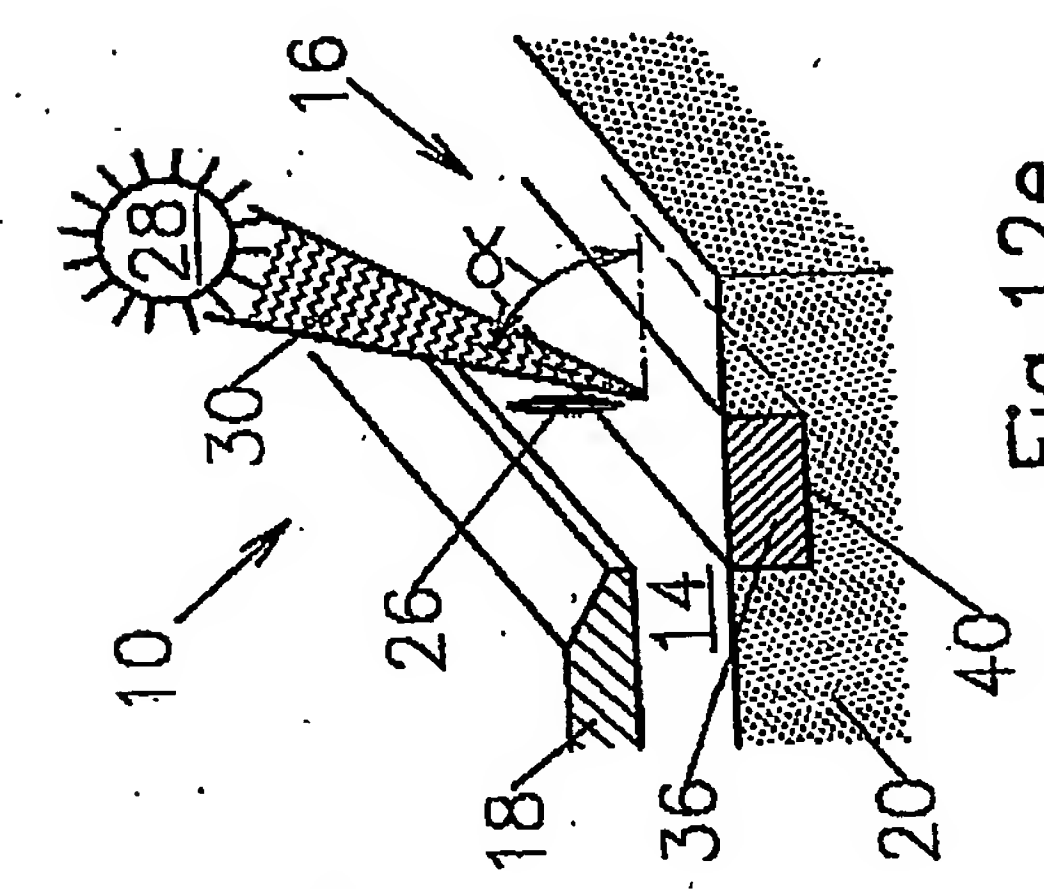


Fig. 12e

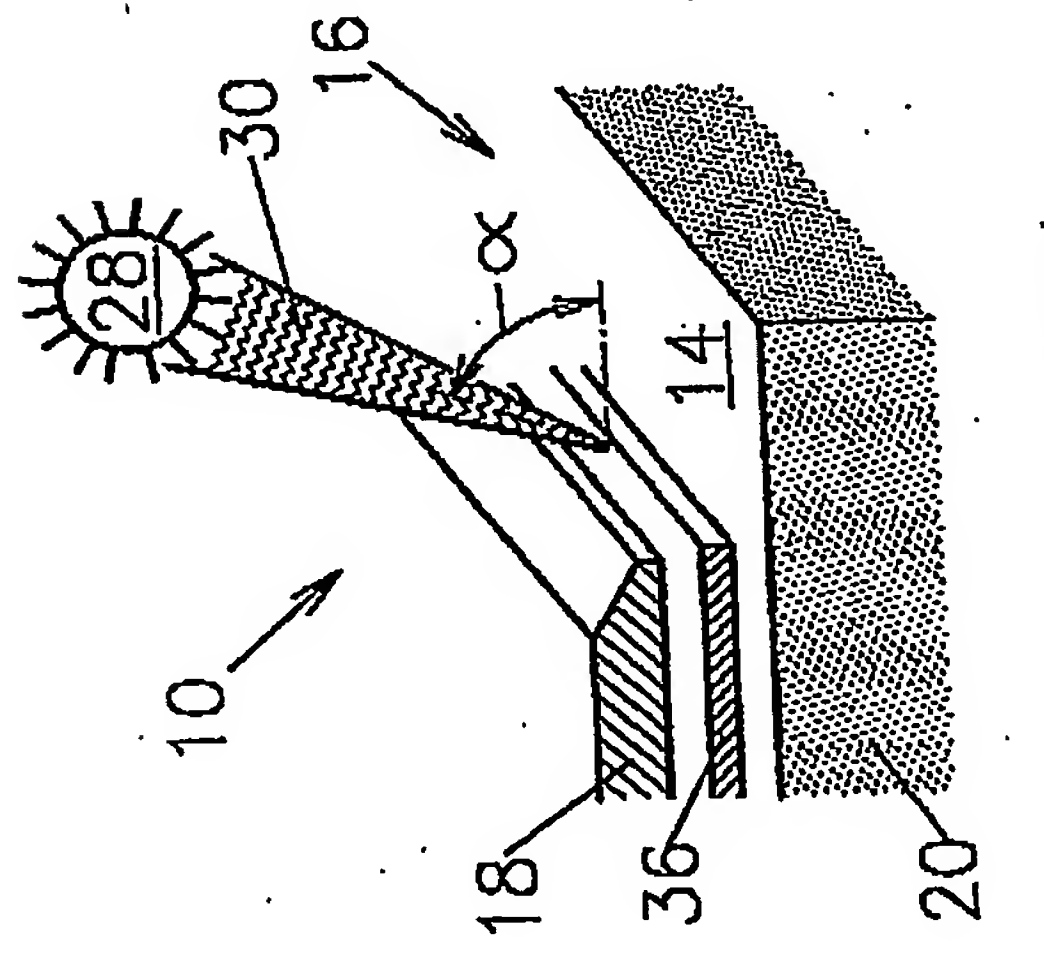


Fig. 12d

STAND DER TECHNIK

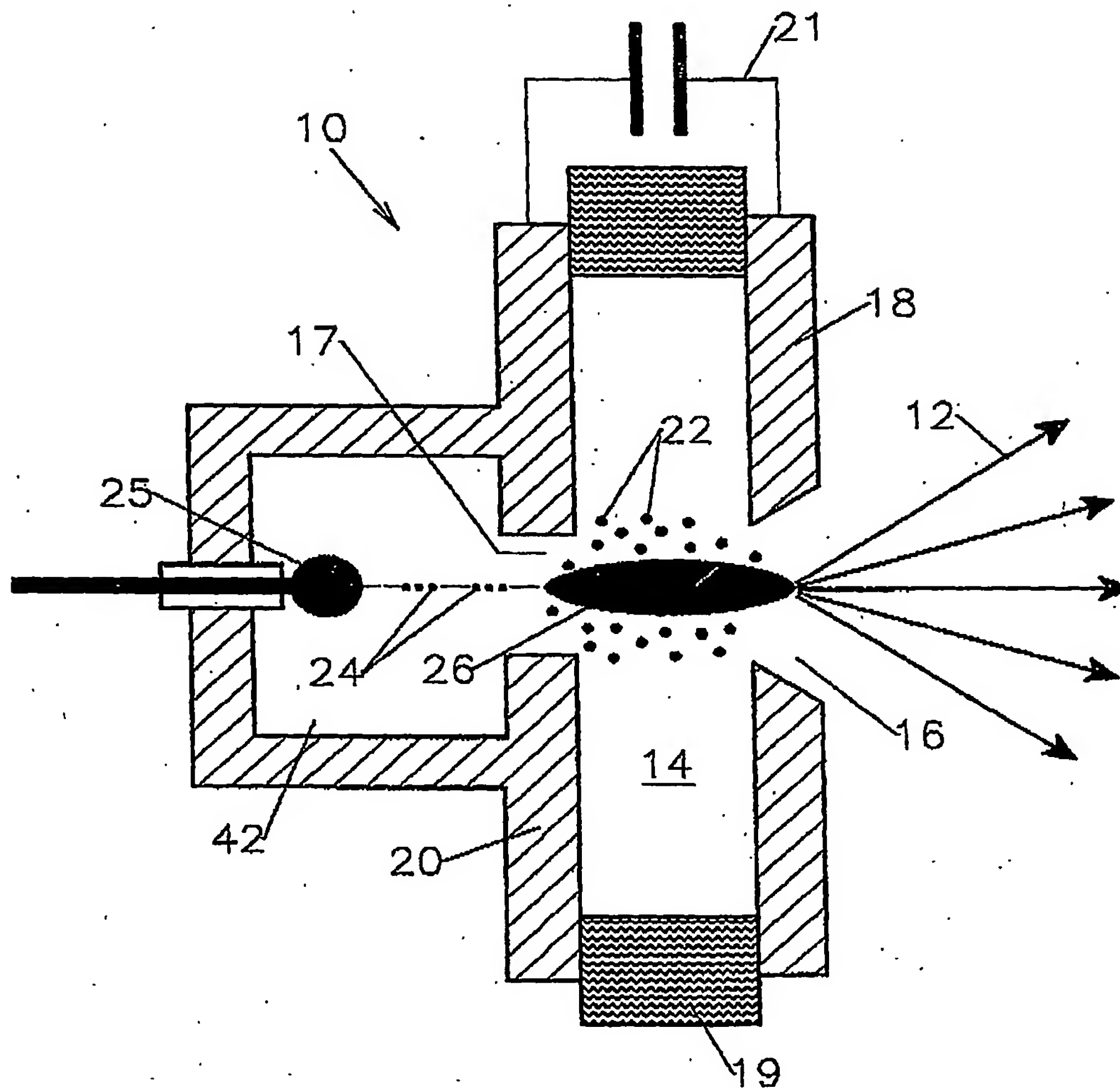


Fig.13

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record.**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.